



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM 184835

PENGARUH FRAKSI *VOLUME* TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT TERHADAP KEKUATAN TEKAN DAN KEKUATAN LENTUR PADA BLOK REM KOMPOSIT KERETA API

MUHAMMAD FAHMI ADRIAN
NRP 02111340000182

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Sutikno ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - TM 184835

PENGARUH FRAKSI *VOLUME* TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT TERHADAP KEKUATAN TEKAN DAN KEKUATAN LENTUR PADA BLOK REM KOMPOSIT KERETA API

MUHAMMAD FAHMI ADRIAN
NRP 02111340000182

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Sutikno ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT - TM 184835

THE EFFECT OF VOLUME FRACTION OF EMPTY PALM CULSTER TOWARDS THE COMPRESSIVE STRENGTH AND FLEXTURAL STRENGTH ON COMPOSITE BRAKE SHOES

MUHAMMAD FAHMI ADRIAN
NRP 02111340000182

Advisor
Dr. Eng. Sutikno ST., MT.

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2019

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH FRAKSI *VOLUME* TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT TERHADAP KEKUATAN TEKAN DAN KEKUATAN LENTUR PADA BLOK REM KOMPOSIT KERETA API

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik
pada Proram Studi S1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh:

M FAHMI ADRIAN
NRP. 02111340000182

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. **Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T** (Pembimbing)
NIP. 197407032000031001
2. **Indra Sidharta, ST., M.Sc., Ph.D.** (Penguji 1)
NIP. 19800619200604
3. **Fahmi Mubarak, S.T., M.Sc., Ph.D.** (Penguji II)
NIP. 19801152003121002
4. **Suwarno, S.T., M.Sc., Ph.D.** (Penguji III)
NIP. 198005202005011003

SURABAYA
JANUARI 2019

PENGARUH FRAKSI VOLUME TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT TERHADAP KEKUATAN TEKAN DAN KEKUATAN LENTUR PADA BLOK REM KOMPOSIT KERETA API

Nama Mahasiswa : Muhammad Fahmi Adrian
NRP : 2113100182
Jurusan : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.

ABSTRAK

Blok rem kereta api merupakan elemen vital pada sistem pengereman kereta api. Blok rem menerima pembebanan hingga 90% beban pengereman yang terjadi pada proses pengereman. Terdapat dua jenis blok rem kereta api, yaitu blok rem metalik dan blok rem komposit. Blok rem metalik memiliki beberapa kekurangan, antara lain, masa pakai yang singkat, harga yang lebih mahal, pemasangan yang lebih sulit, dan timbulnya percikan api pada saat proses pengereman. Kekurangan tersebut menyebabkan blok rem metalik mulai ditinggalkan dan digantikan oleh blok rem komposit. PT.KAI memiliki standarisasi yang telah ditentukan untuk blok rem kereta api dapat digunakan, standar ini mengacu pada American Standard Testing and Material (ASTM). Standard yang harus dipenuhi sesuai dengan ASTM antara lain adalah kekuatan tekan, kekerasan, kelenturan, koefisien gesek, berat jenis, dan tegangan geser. Pada saat ini PT.KAI telah menggunakan blok rem komposit untuk sebagian operasional kereta, namun blok rem yang digunakan seluruhnya masih berupa barang impor. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh fraksi volume tandankosong kelapa sawit dan iron powder

terhadap kekuatan lentur (ASTM D790) dan kekuatan tekan (ASTM D695) pada blok rem komposit sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan PT.KAI.

Penelitian kali ini menggunakan komposit serat TKKS – resin phenol, alumina, iron powder dan magnesium oksida Penelitian terdiri dari beberapa tahap, mulai dari studi pustaka, simulasi, pembuatan spesimen, serta pengujian kelenturan dan kekuatan tekan. Pengujian dan geometri model blok rem mengacu pada standar yang telah ditentukan PT.KAI. Pembuatan komposit dilakukan dengan pemberian pembebanan sebesar 15 ton dengan suhu pemanasan 200 derajat celcius dengan waktu selama 40 menit, dan kemudian dilanjutkan dengan proses curing dengan waktu 60 menit pada suhu 100 derajat celcius

Terdapat 3 variasi komposisi blok rem komposit dengan range fraksi volume Tandan Kosong Kelapa Sawit 10-20%, Magnesium oksida 10-20%, Alumina 25%, iron powder 15%, dan Resin phenol 30%. Dari hasil eksperimen didapatkan hasil bahwa pada pengujian kekuatan tekan komposisi 1 memiliki nilai kekuatan tekan terbesar dengan nilai 50,109 Mpa, dan telah memenuhi nilai standard PT.KAI. Pada komposisi 3 memiliki nilai kekuatan tekan sebesar 37,119 Mpa dan telah memenuhi standard minimal yaitu sebesar 25 MPa. Pada pengujian kekuatan lentur komposisi 1 memiliki nilai tertinggi yaitu sebesar 33,011 Mpa dan telah memenuhi standard. Komposisi 1 telah memenuhi nilai standard minimum yang ditentukan oleh PT.KAI yaitu 24-40 MPa.

Kata kunci: blok rem komposit, standard PT.KAI, kekuatan lentur dan kekuatan tekan.

THE EFFECT OF VOLUME FRACTION OF EMPTY PALM CLUSTER TOWARDS THE COMPRESSIVE STRENGTH AND FLEXTURAL STRENGTH ON COMPOSITE BRAKE SHOES

Name : Muhammad Fahmi Adrian
NRP : 2113100182
Department : Mechanical engineering
Advisor : Dr. Eng. Sutikno, ST., MT.

ABSTRACT

Train brake shoes are a vital element in the railroad braking system. The brake block accepts loading up to 90% of the braking load that occurs in the braking process. There are two types of train brake shoes, namely metallic brake shoes and composite brake shoes. Metallic brake shoes have several disadvantages, among others, a short lifetime, a more expensive price, a more difficult installation, and the emergence of sparks during the braking process. This deficiency causes metallic brake shoes to be left behind and replaced by composite brake shoes. PT. KAI has a predetermined standard for train brake shoes that can be used, this standard refers to the American Standard Testing and Material (ASTM). Standards that must be met in accordance with ASTM include compressive strength, hardness, flextural strength, coefficient of friction, specific gravity and shear stress. At this time PT. KAI has used composite brake shoes for some train operations, but the brake shoes used are all in the form of imported goods. This study aims to determine the effect of volume fractions of oil palm empty fruit and iron powder on flextural strength (ASTM D790) and strength press (ASTM D695) on composite

brake shoes in accordance with specifications specified by PT. KAI.

This research uses TKKS fiber composites - phenol resins, alumina, iron powder and magnesium oxide Research consists of several stages, starting from literature studies, simulations, specimen making, and testing of flextural strength and compressive strength. Testing and geometry of the brake shoes model refers to the standards set by PT. KAI. The making of composites is done by giving a load of 15 tons with a heating temperature of 200 degrees Celsius with a time of 40 minutes, and then proceed with a curing process with a time of 60 minutes at a temperature of 100 degrees Celsius

From the experimental results it was found that the composition of the compressive strength 1 with the volume fraction of 20% Oil Palm Empty Bunches, 10% Magnesium oxide, 25% Alumina, 15% iron powder, and 30% phenol Resin had the greatest compressive strength value of 50,109 MPa, and has met the standard value of PT. KAI. In composition 3 with a volume fraction of 10% Oil Palm Empty Bunches, 20% Magnesium oxide, 25% Alumina, 15% iron powder, and 30% phenol Resin also has a compressive strength value of 37.119 Mpa and has met the minimum standard of 25 MPa. In testing composition 1 flextural strength has the highest value that is equal to 33.011 MPa and has met the standard. Composition 1 has fulfilled the minimum standard value determined by PT. KAI, which is 24-40 Mpa.

Keywords: composite brake shoes, PT. KAI standard, flextural strength and compressive strength

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Rabbil'alamin. Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat ALLAH SWT atas limpahan rahmat, hidayah, rizki dan izin-Nya sehingga penyusunan laporan tugas akhir dengan judul “PENGARUH FRAKSI VOLUME TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT TERHADAP KEKUATAN TEKAN DAN KEKUATAN LETUR ADA BLOK REM KOMPOSIT KERETA API” ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat pada waktunya. Adapun pengajuan laporan tugas akhir ini ditujukan untuk pemenuhan beberapa ketentuan kelulusan pada jejang perkuliahan Strata 1 Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya. Melalui penyusunan tugas akhir ini, penulis menyadari dalam penyusunan laporan tugas akhir ini bukan semata-mata atas kemampuan penulis sendiri, melainkan dengan adanya dukungan, bimbingan dan dorongan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Achmad Jelani dan Enny Sri Haerani, kedua orangtua penulis dan keluarga besar yang selalu memberikan do'a, semangat dan bantuan finansial yang tak henti-henti hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
2. Bapak Dr.Eng. Sutikno, ST., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dan nasehat kepada penulis baik dalam kehidupan sosial maupun akademis.
3. Bapak Indra Sidharta ST., M.Sc., Fahmi Mubarak ST., M.Sc., Suwarno, ST., MSc., PhD. selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak saran dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Ibu Dr. Ir Helena Carolina Kis Agustin, DEA selaku dosen wali.

5. Teman – teman satu bimbingan tugas akhir, Rizqullah N.N. , Ananta Jatra S., Anderson wellington J., dan yang lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan, yang telah membantu dalam susah maupun senang dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Vincentia Anna Swandewi ST., yang telah mengingatkan, mendukung, memberi semangat dan membantu dalam penyusunan tugas akhir ini.
7. Seluruh Warga Laboratorium Metalurgi yang telah mengingatkan dan memberikan semangat moril demi selesainya tugas akhir ini.
8. Teman-teman satu Gontrakan, Fahri dan Jokul yang telah memberikan masukan dan semangat untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Seluruh rekan-rekan M56 Teknik Mesin ITS 2013 yang turut membantu dan memberikan dukungan kepada penulis.
10. Seluruh Keluarga Mahasiswa Mesin ITS khususnya anggota Mesin ITS Autosport yang telah memberikan semangat dan dukungan kepada Penulis.

Semoga segala kebaikan dan keikhlasan yang diberikan mendapatkan balasan yang terbaik dari Allah SWT. Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna sehingga penulis terbuka terhadap saran dan kritik yang membangun demi penelitian selanjutnya. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca, khususnya mahasiswa Departemen Teknik Mesin.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Dasar Teori	8
2.2.1 Komposit.....	8
2.2.2 Klasifikasi Material Komposit	11
2.2.2.1 Komposit Serat	11
2.2.2.2 Komposit Laminat (laminated composite)	13
2.2.2.3 Komposit Partikel (particulated composite).....	13
2.2.2.4 Komposit serpihan (<i>flake composite</i>).....	14
2.2.3 Unsur-Unsur Utama Pembentuk Komposit <i>Fiber Reinforced Plastics (FRP)</i>	15
2.2.3.1 Serat.....	16
2.2.3.2 Matrik	16
2.2.4 Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit	17
2.2.5 Resin Phenolic	18
2.2.6 Alumina	19
2.2.7 Magnesium Oksida	20

2.2.8	Material Rem Kereta Api	21
2.2.9	Konsep Dasar Pengereman.....	23
2.3	Pengujian	25
2.3.1	Uji Tekan	25
2.3.2	Uji Lentur.....	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		29
3.1	Diagram Alir.....	29
3.2	Studi Literatur	31
3.3	Eksperimen Awal	31
3.3.1	Pengujian Kelenturan.....	32
3.3.2	Pengujian Kekuatan Tekan.....	34
3.4	Pembuatan <i>Prototype</i> Blok Rem Komposit Kereta Api	35
3.4.1	Peralatan dan Bahan.....	35
3.4.2	Langkah – Langkah.....	36
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....		37
4.1	Variasi Komposisi Komposit.....	37
4.1.1	Perhitungan Rule of Mixture	37
4.2	Eksperimen dan Hasil Eksperimen	38
4.2.1	Pembuatan Kampas Rem	39
4.2.2	Kekuatan Tekan Material	40
4.2.3	Kekuatan Lentur Material	45
4.3	Analisa Kegagalan	50
BAB V PENUTUP		53
5.1	Kesimpulan.....	53
5.2	Saran	53
DAFTAR PUSTAKA		55
LAMPIRAN.....		57
BIODATA PENULIS		59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pembagian Komposit Berdasarkan Jenis Penguat (Widyastuti, 2009).....	9
Gambar 2.2 Ilustrasi Komposit Berdasarkan Penguatnya (Agus, 2008).	10
Gambar 2.3 Mikrostruktur Lamina (Widodo, 2008).....	13
Gambar 2.4 Bagan Klasifikasi Komposit (Ramatawa, 2008)	15
Gambar 2.5 Aplikasi Material Gesek Pada Rem Kereta Api: a) Brake Pad, b) Brake Lining, c) Kopling, d) Rem Kereta Api (Rachman, 2010).	23
Gambar 2.6 Ilustrasi Pengereman (Hardianto, 2008).....	24
Gambar 2.7 Ilustrasi Pengujian Kekuatan Tekan (ASTM D695).....	26
Gambar 2.8 Ilustrasi Pengujian Kelenturan (ASTM D790).....	27
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	29
Gambar 3.2 Diagram Alir Eksperimen Pembuatan Blok Rem Komposit.....	30
Gambar 3.3 Material Komposit Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit-Phenol-Friction Modifier	32
Gambar 3.4 Ilustrasi Pengujian Kelenturan (ASTM D790).....	33
Gambar 3.5 Ilustrasi Pengujian Kekuatan Tekan (ASTM D695).....	34
Gambar 4.1 Variasi Blok Rem komposit 1	39
Gambar 4.2 Variasi Blok Rem Komposit 2	40
Gambar 4.3 Variasi Blok Rem Komposit 3	40
Gambar 4.4 (a) Spesimen Pengujian Tekan Komposisi 1 (b) Spesimen Pengujian Tekan Komposisi 3 (c) Spesimen Pengujian Tekan Komposisi 3	41
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Kekuatan Tekan pada tiap komposisi	43
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Kekuatan Tekan dengan presentase serat TKKS	44
Gambar 4.7 (a) Spesimen Pengujian Lentur Komposisi 1 (b) Spesimen Pengujian Lentur Komposisi 3(c) Spesimen Pengujian Lentur Komposisi 3	46

Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Kekuatan Lentur pada tiap Komposisi	48
Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Kekuatan Lentur dengan presentase serat TKKS	49
Gambar 4.10 <i>Void</i> dan porositas pada material	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi kimia serat TKKS 5% NaOH (Supriadi H., 2008)	5
Tabel 2.2 <i>Formulation of Coconut Fibre Reinforced Aluminium Brake Pad Materials</i> (Maleque, 2012)	7
Tabel 2.3 Tabel variasi parameter produksi (Hilman S., 2012)	7
Tabel 2.4 <i>Properties</i> Serat Kelapa Sawit (Ali, 2012)	18
Tabel 2.5 <i>Properties of phenolic resin</i>	19
Tabel 2.6 Properties of 99.5% Aluminum Oxide in Room Temperature (Accuratus corporation, 2013).....	20
Tabel 2.7 Spesifikasi Teknik Rem Komposit PT. KAI (Hilman, 2012)	25
Tabel 3.1 Komposisi awal blok rem komposit	31
Tabel 3.2 Hasil Pengujian Kelenturan	33
Tabel 3.3 Hasil Pengujian Kekuatan Tekan.....	35
Tabel 4.1 Variasi Komposisi Kampas Rem Komposit	37
Tabel 4.2 Perbandingan Rules Of Mixture terhadap kekuatan tekan	38
Tabel 4.3 Perbandingan Rules Of Mixture terhadap kekuatan lentur	38
Tabel 4.4 Nilai Kekuatan Tekan Material Komposisi 1.....	41
Tabel 4.5 Nilai Kekuatan Tekan Material Komposisi 2.....	42
Tabel 4.6 Nilai Kekuatan Tekan Material Komposisi 3.....	42
Tabel 4.7 Nilai Kekuatan Lentur Material Komposisi 1	46
Tabel 4.8 Nilai Kekuatan Lentur Material Komposisi 2	47
Tabel 4.9 Nilai Kekuatan Lentur Material Komposisi 3	47
Tabel 4.10 Tabel perbandingan densitas teori, densitas aktual, dan void	50
Tabel 4.11 Tabel perbandingan kekuatan tekan, kekuatan lentur dan void.....	52

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transportasi merupakan hal yang tak terpisahkan dari kehidupan masyarakat seluruh dunia, tak terkecuali Indonesia. Transportasi merupakan aspek yang penting dalam menunjang kehidupan sehari-hari. Salah satu transportasi yang digunakan oleh mayoritas masyarakat adalah kereta api. Menurut Badan Pusat Statistik, pengguna kereta api tiap harinya mencapai 22.996 penumpang untuk wilayah Jabodetabek, 6.332 penumpang untuk wilayah Non Jabodetabek, dan 503 penumpang untuk wilayah Sumatra, dengan total penumpang tiap hari sebanyak 29.831 (data bulan Desember 2015). Kereta api di Indonesia memiliki angka pertumbuhan yang cukup pesat, yaitu 4,05% per tahunnya (Statistik Transportasi Darat Tahun, 2015). Seiring dengan perkembangan jumlah kereta api maka dapat menimbulkan masalah, yaitu kecelakaan kereta api yang sering terjadi. Pada tahun 2010 sampai 2016 terjadi 35 kecelakaan kereta api yang disebabkan oleh dua hal yaitu Anjlok dan Tumbukan antar kereta api. 68% kecelakaan kereta api disebabkan oleh anjloknya kereta api, dimana penyebab utamanya merupakan kegagalan dari sistem pengereman (Komite Nasional Keselamatan Transportasi, 2016).

Pada pengoperasian kereta api, sistem pengereman merupakan salah satu faktor utama dan penting, karena menyangkut keamanan dari kereta api tersebut beserta penumpang yang ada didalamnya. Sistem pengereman pada kereta api menggunakan sistem pengereman udara bertekanan. Udara yang ada pada tekanan atmosfer akan dikompresikan pada kompresor yang kemudian dialirkan ke *main reservoir*, apabila katup pengereman dibuka maka udara akan dialirkan melalui pipa-pipa yang kemudian akan menekan silinder blok dan kemudian menekan blok rem (Arisandi D, ITB.2014). Blok rem merupakan

elemen penting dalam sistem pengereman, apabila terjadi kegagalan dapat menelan korban jiwa dan materi yang tidak sedikit. Blok rem menerima pembebanan yang sangat besar yaitu mencapai 90% beban pengereman yang ada.

Pada dasarnya bahan rem kereta api dibedakan menjadi dua, yaitu yang berbahan dasar komposit dan berbahan dasar metalik. Menurut penelitian sebelumnya, sepatu rem yang berbahan dasar komposit memiliki berbagai kelebihan dibandingkan dengan berbahan dasar metalik. Pada blok rem komposit memiliki berat yang lebih ringan sehingga memudahkan dalam proses pemasangan, umur pemakaianpun lebih lama dibandingkan dengan blok rem metalik yaitu sekitar 3 bulan, dan juga memiliki tingkat keausan rem yang rendah (Lutiyatmi, 2013). Material komposit adalah material yang terdiri dari kombinasi dua atau lebih material dalam skala mikroskopik (Robert M. 1995). Kombinasi antara material tersebut akan menghasilkan kualitas komposit menjadi lebih baik daripada material penyusunnya.

Sebagai salah satu material alternatif serat tandan kosong kelapa sawit merupakan salah satu serat alam yang cukup menjanjikan. Pada industri minyak kelapa sawit dapat menghasilkan limbah tandan kosong kelapa sawit mencapai 1,1 ton untuk setiap 1 ton pengolahan minyak kelapa sawit. Indonesia merupakan salah satu produsen minyak kelapa sawit terbesar di dunia, dengan limbah tandan kosong kelapa sawit yang melimpah dan belum dimanfaatkan dengan optimal. Pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit masih terbatas, yaitu sebagai mulsa pada perkebunan kelapa sawit, atau dibakar dan kemudian abunya digunakan sebagai pupuk kalium. Ditinjau dari sifat fisik, morfologi, dan komposisi kimia, tandan kosong kelapa sawit dapat digunakan sebagai bahan baku potensial untuk pengisi atau penguat komposit polimer. Hal ini disebabkan kandungan selulosa pada TKKS (tandan kosong kelapa sawit) yang cukup besar mencapai sekitar 65 % [Syaeful H A, ITB].

1.2 Perumusan Masalah

Pemakaian blok rem metalik saat ini sudah mulai di tinggalkan, hal ini disebabkan blok rem metalik memiliki kekuatan tegangan yang rendah, sehingga dapat menimbulkan konsentrasi tegangan, selain itu blok rem metalik juga memiliki umur pemakaian yang singkat dan massa yang berat sehingga menyulitkan pada waktu pemasangan. Dibutuhkannya sebuah inovasi berupa material blok rem yang dapat menggantikan atau mengurangi kekurangan dari blok rem metalik, blok rem komposit terdiri dari beberapa material penyusun sehingga dapat bertahan pada temperatur kerja 250 °C - 500 °C. (tidak terbakar).

Indonesia merupakan salah satu produsen kelapa sawit terbesar di dunia, dengan banyaknya limbah kelapa sawit yang belum terolah secara optimal. Hal ini memunculkan inovasi akan material blok rem yang murah serta ramah lingkungan. Pemanfaatan serat alam berupa serat Tandan Kosong Kelapa Sawit telah banyak dijumpai pada dunia industri otomotif, penerbangan dan perkapalan. Dalam penelitian ini akan dibuat *prototype* blok rem kereta api dengan material komposit serat TKKS – *resin phenol* dengan menambahkan *friction modifier* berupa alumina , *iron powder* dan magnesium oksida.

1.3 Tujuan

Saat ini blok rem komposit mulai menggantikan blok rem metalik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh fraksi volume dari serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dan Magnesium Oksida terhadap kekuatan lentur dan kekuatan tekan pada blok rem komposit kereta api sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan PT.KAI

1.4 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini diantaranya dapat digunakan oleh pihak terkait sebagai pertimbangan penggunaan material serat TKKS – *epoxy phenol* – *friction modifier* sebagai bahan pembuatan *brake shoe* beserta pengembangannya.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak melenceng dan dapat mencapai tujuan yang diinginkan, perlu adanya batasan masalah. Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Blok rem komposit memenuhi spesifikasi teknis blok rem PT KAI
2. Desain dan geometri blok rem kereta api yang digunakan adalah sesuai spesifikasi teknis blok rem PT KAI
3. Diameter dan panjang serat yang digunakan dianggap seragam.
4. Fraksi volume dari Alumina, *Iron Powder* dan *resin phenol* dianggap tetap yaitu 25%, 15%, dan 30%

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Indonesia merupakan produsen Serat Tandan Tosong Kelapa Sawit (TKKS) terbesar di dunia. TKKS merupakan salah satu serat alami yang dihasilkan dari limbah pengolahan minyak kelapa sawit. Industri minyak kelapa sawit akan menghasilkan limbah TKKS sebesar 1.1 ton untuk setiap 1 ton minyak kelapa sawit yang diproduksi. Ditinjau dari sifat fisik, morfologi, dan komposisi kimia, TKKS dapat digunakan sebagai bahan baku potensial untuk pengisi atau penguat komposit polimer, Hal ini disebabkan kandungan selulosa pada TKKS yang cukup besaryaitu mencapai sekitar 65 % (Hilman S, dkk, 2012). Penelitian mengenai TKKS selanjutnya adalah penelitian oleh Supriadi H dan Savetlana S, mereka melakukan penelitian dengan memvariasikan waktu perendaman TKKS dengan NaOH 5%. Pada penelitian ini divariasikan waktu perendaman selama nol jam, dua jam, empat jam, dan enam jam. Hasil yang didapatkan adalah pada perendaman TKKS selama dua jam merupakan hasil terbaik dengan peningkatan kadar selulosa pada TKKS sebesar 58,2802%

Tabel 2.1 Komposisi kimia serat TKKS 5% NaOH (Supriadi H., 2008)

No	Komposisi kimia serat TKKS			
	Kadar Selulosa %	Kadar Lignin %	Kadar Air %	Kadar Abu %
0 jam	13,2848	35,9546	9.038	8.994
2 jam	58,2808	3,9973	11.193	3.880
4 jam	54,9852	4,2076	10.848	3.631
6 jam	54,4233	9,5638	10.634	3.288

Penelitian selanjutnya adalah penelitian yang membahas perbandingan blok rem komposit dan blok rem metalik oleh Duddy Arisandi dan Arsil Senoaji S. Mereka menyebutkan bahwa blok rem metalik lebih berat dibandingkan dengan blok rem komposit yaitu 11-12 kg dan blok rem komposit hanya 3-5 kg. Selain itu blok rem komposit juga lebih tahan aus dari pada blok rem komposit, yaitu sekitar 3 bulan masa pemakaian. Blok rem komposit juga memiliki sifat mekanik yang baik, diantaranya ulet dan eras namun tidak mudah hancur, serta memiliki konduktivitas termal tertentu sehingga tidak menimbulkan *thermal crack*. Penelitian selanjutnya oleh Rongpin yun membahas mengenai kombinasi blok rem komposit dengan komposisi beberapa material seperti *phenolic resin*, alumina, magnesium oksida, dan TKKS, dan didapatkan bahwa salah satu sample dari lima sample yang ada telah memiliki nilai gesekan, keausan, serta biaya bahan baku sesuai dengan *Brake Effectiveness Evaluation Procedure* (BEEP). Penelitian selanjutnya adalah penelitian oleh M.A. Maleque mengenai blok rem komposit. Pada penelitiannya ia menggunakan serat TKKS, penguat berupa *graphite* dan aluminium sebagai *filler* pada material komposit dan *matrix phenolic resin* untuk aplikasi kampas rem dengan variasi fraksi volume seperti pada tabel di bawah ini. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa penambahan serat TKKS sebesar 5% memiliki nilai kekerasan tertinggi yaitu sebesar 63,92 HRS

Tabel 2.2 *Formulation of Coconut Fibre Reinforced Aluminium Brake Pad Materials* (Maleque, 2012)

Raw Materials	Percentage (%)			
	BP1	BP2	BP3	BP4
	0	5	10	15
Aluminium	45	40	35	30
Silicon carbide	20	20	20	20
Coconut fibre	0	5	10	15
Graphite	10	10	10	10
Alumina oxide	13	13	13	13
Zirconia oxide	2	2	2	2
Phenolic resin	10	10	10	10
Total	100	100	100	100

Penelitian lain yang dilakukan oleh Hilman Syaeful, dkk melakukan variasi penekanan pembebanan dan suhu penekanan dengan komposisi material, grafit, alumina, resin phenol, serat TKKS, *iron powder*, dan kalsium hidroksida. Pada variasi parameter produksi didapatkan hasil terbaik pada beban penekanan sebesar 15 ton, waktu penekanan selama 15 menit dengan suhu penekanan sebesar 200°C, yang kemudian dilanjutkan proses *curing* selama 60 menit dengan suhu 100 °C .

Tabel 2.3 Tabel variasi parameter produksi (Hilman S., 2012)

No. Sampel	Beban Ton	Temperatur °C	Waktu Menit
S13	10	200	40
S14	15	200	
S15	20	200	
S16	10	175	
S17	15	175	
S18	20	175	
S19	10	200	50
S20	15	200	
S21	20	200	
S22	10	175	
S23	15	175	
S24	20	175	

Penelitian yang dilakukan oleh Pratama menggunakan magnesium oksida (MgO) mampu meningkatkan ketahanan aus material kampas rem. Hasil laju keausan dengan MgO yang paling rendah didapatkan dari komposisi 40% *epoxy*, 40% *fly ash* batu bara, dan 20% MgO. Penelitian berikutnya oleh Arif M. mengenai pembuatan blok rem kereta api menggunakan *iron powder* dan serat TKKS. Ia memvariasikan penggunaan mesh 60, 80, 10 terhadap kekerasan material blok rem. Pada komposisi *iron powder* 50%, 20% serat TKKS, dan 30% *epoxy* serta penggunaan mesh 60 didapatkan nilai kekerasan yang terbaik. Berbekal penelitian terdahulu, material komposit yang akan dikembangkan untuk aplikasi blok rem kereta api berpenguat serat tandan kosong kelapa sawit, matrix *phenolic* dan penambahan *friction modifier* berupa alumina, *iron powder* dan magnesium oksida dengan fraksi massa serat TKKS yang digunakan yaitu 20%, *phenol* 30%, alumina 25%, *iron powder* 15%, dan magnesium oksida 10%, dengan variasi pada TKKS dan magnesium oksida sebesar 10-20%

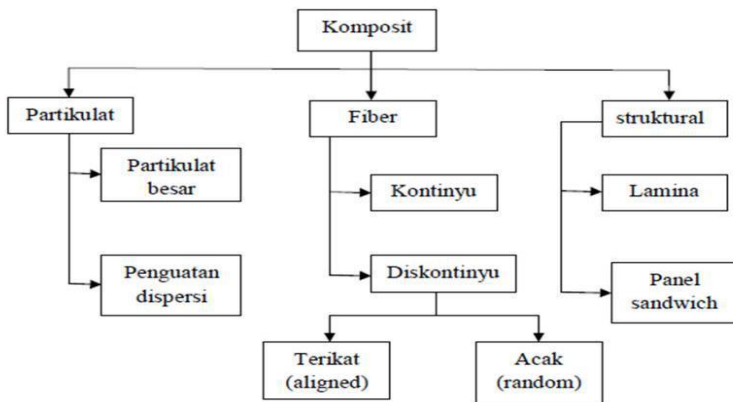
2.2 Dasar Teori

2.2.1 Komposit

Material komposit merupakan material yang terbentuk dari kombinasi antara dua atau lebih material. Pembentuk material komposit melalui pencampuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda. Material komposit memiliki sifat mekanik yang lebih bagus dari pada logam, memiliki kekuatan yang bisa diatur tinggi (*tailorability*), memiliki kekuatan lelah (*fatigue*) yang baik, memiliki kekuatan jenis (*strength/weight*) dan kekakuan jenis (*modulus Young/density*) yang lebih tinggi daripada logam, tahan korosi, memiliki sifat isolator panas dan suara, serta dapat dijadikan sebagai penghambat listrik yang baik, dan dapat juga digunakan untuk menambal kerusakan akibat pembebanan dan korosi (Sirait, 2010).

Penjelasan lain tentang komposit juga diutarakan (Van Rijswijk, M.Sc, dkk, 2001), dalam bukunya *Natural Fibre*

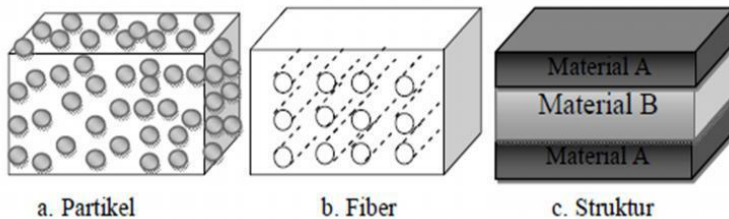
Composites, komposit merupakan bahan hibrida yang terbuat dari resin polimer diperkuat dengan pencampuran serat alam, serta menggabungkan sifat-sifat mekanik dan fisik. Komposit merupakan gabungan material multifasa yang memiliki *interface* makroskopis yang dapat dibedakan secara makro dan memiliki sifat-sifat yang merupakan penggabungan sifat positif material penyusunnya. Komposit berdasarkan jenis penguatnya dibagi menjadi 3 macam yaitu komposit partikulat, komposit *fiber* dan komposit struktural.



Gambar 2.1 Pembagian Komposit Berdasarkan Jenis Penguat (Widyastuti, 2009).

Berdasarkan sifat penguatnya, komposit dibagi menjadi dua yaitu komposit isotropik dan anisotropik. Komposit isotropik adalah komposit yang penguatnya memberikan penguatan yang sama untuk berbagai arah (baik dalam arah *transversal* maupun *longitudinal*) sehingga segala pengaruh tegangan atau regangan dari luar akan mempunyai nilai kekuatan yang sama. Sebaliknya komposit anisotropik adalah komposit yang penguatnya memberikan penguatan tidak sama terhadap arah yang berbeda, sehingga segala pengaruh tegangan atau regangan dari luar akan mempunyai nilai kekuatan yang tidak sama (baik arah *transversal*

maupun *longitudinal*) (Agus, dkk, 2008). Seperti diilustrasikan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Ilustrasi Komposit Berdasarkan Penguatnya (Agus, 2008).

Berdasarkan jenis matriksnya komposit terbagi menjadi tiga, yaitu:

1. *Polimer Matrix Composite* (PMC) yang merupakan komposit dengan jenis matriks polimer.
Contoh: *Thermoplastic, Thermosetting*
2. *Metal Matrix Composite* (MMC) merupakan komposit berbahan matriks logam.
Contoh: Aluminium, Magnesium, dan Titanium
3. *Ceramic Matrix Composite* (CMC) yaitu komposit dengan bahan matriks keramik.
Contoh: *Alumina, Aluminium Titanate, Silicon Carbide*

Komposit berbahan matriks logam (MMC) sering diaplikasikan pada bidang kedirgantaraan dan komponen otomotif. CMC digunakan untuk keperluan perlindungan panas pada pesawat luar angkasa dan komponen pada roket. Komposit berbahan polimer (PMC) sering digunakan pada alat-alat rumah tangga hingga peralatan elektronik. (Safaat, 2017)

Bahan polimer pada matriks dibagi menjadi 2 jenis yaitu *thermoset* dan *thermoplastic*. Polimer *thermoset* adalah bahan yang akan menjadi keras jika dipanaskan di atas temperatur kritisnya dan tidak dapat diperlunak dengan cara dipanaskan. Polimer *thermoset* tidak dapat didaur ulang. Contoh matriks polimer *thermoset* adalah *epoxy* dan *polyester*. Polimer *thermoplastic*

adalah polimer yang dapat dilunakkan dengan cara dipanaskan diatas temperatur kritisinya. Polimer *thermoplastic* dapat didaur ulang. Contoh polimer *thermoplastic* adalah *polystyrene* dan *nylons*. (Safaat, 2017)

Ada tiga faktor yang menentukan sifat-sifat dari material komposit, yaitu:

1. Material pembentuk. Sifat-sifat intrinsik material pembentuk memegang peranan yang sangat penting terhadap pengaruh sifat kompositnya.
2. Susunan struktural komponen. Dimana bentuk serta orientasi dan ukuran tiap-tiap komponen penyusun struktur dan distribusinya merupakan faktor penting yang memberi kontribusi dalam penampilan komposit secara keseluruhan.
3. Interaksi antar komponen. Karena komposit merupakan campuran atau kombinasi komponen-komponen yang berbeda baik dalam hal bahannya maupun bentuknya, maka sifat kombinasi yang diperoleh pasti akan berbeda (Sirait, 2010).

Secara umum material komposit tersusun dari dua komponen utama yaitu matrik (bahan pengikat) dan *filler* (bahan pengisi). *Filler* adalah bahan pengisi yang digunakan dalam pembuatan komposit, biasanya berupa serat atau serbuk. (Gibson, 1984) mengatakan bahwa matrik dalam struktur komposit bisa berasal dari bahan polimer, logam, maupun keramik. Matrik secara umum berfungsi untuk mengikat serat menjadi satu struktur komposit.

2.2.2 Klasifikasi Material Komposit

Berdasarkan bahan penguat, material komposit dapat diklasifikasikan menjadi komposit serat, komposit lamina, komposit partikel dan komposit serpihan.

2.2.2.1 Komposit Serat

Komposit serat merupakan jenis komposit yang menggunakan serat sebagai penguat. Serat yang digunakan

biasanya berupa serat gelas, serat karbon, serat *aramid* dan sebagainya. Serat ini bisa disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman. Bila peningkatan kekuatan menjadi tujuan utama, komponen penguat harus mempunyai rasio aspek yang besar, yaitu rasio panjang terhadap diameter harus tinggi, agar beban ditransfer melewati titik dimana mungkin terjadi perpatahan (Vlack L. H., 2004).

Tinggi rendahnya kekuatan komposit dipengaruhi oleh serat yang digunakan, hal ini disebabkan tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matriks akan diteruskan kepada serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum. Oleh karena itu serat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi dari pada matrik penyusun komposit (Vlack L. H., 1985). Bahan komposit terdiri dari dua macam, yaitu komposit partikel (*particulate composite*) dan komposit serat (*fiber composite*). Bahan komposit partikel terdiri dari partikel yang diikat matrik. Komposit serat ada dua macam, yaitu serat pendek (*short fiber* atau *whisker*) dan serat panjang (*continous fiber*).

1. Komposit serat pendek (*short fiber composite*)

Berdasarkan arah orientasi material komposit yang diperkuat dengan serat pendek dapat dibagi lagi menjadi dua bagian yaitu serat acak (*inplane random orientation*) dan serat satu arah. Tipe serat acak sering digunakan pada produksi dengan volume besar karena faktor biaya manufakturnya yang lebih murah. Kekurangan dari jenis serat acak adalah sifat mekanik yang masih dibawah dari penguatan dengan serat lurus pada jenis serat yang sama.

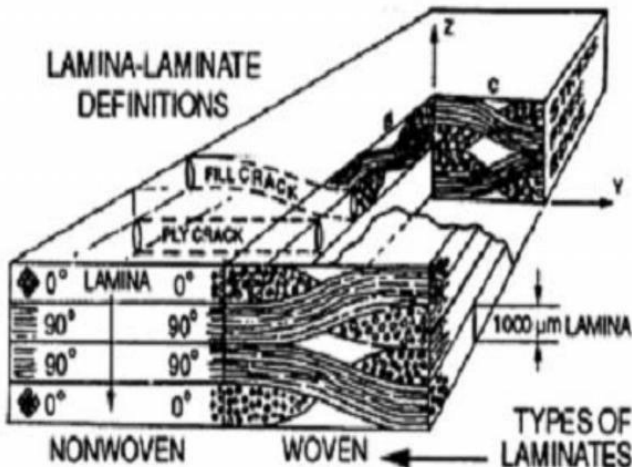
2. Komposit serat panjang (*long fiber composite*)

Keistimewaan komposit serat panjang adalah lebih mudah diorientasikan, jika dibandingkan dengan serat pendek. Secara teoritis serat panjang dapat menyalurkan pembebanan atau tegangan dari suatu titik pemakaiannya. Perbedaan serat panjang dan serat pendek yaitu serat pendek

dibebani secara tidak langsung atau kelemahan matrik akan menentukan sifat dari produk komposit tersebut yakni jauh lebih kecil dibandingkan dengan besaran yang terdapat pada serat panjang yang rendah agar masalah dispersi dapat dikurangi dan untuk menghemat jumlah serat penguat. Serat yang sangat kuat akan memaksimalkan pembagi dan tentunya sangat membantu. Jadi suatu matrik dengan kecenderungan pengerasan regangan kuat memerlukan fraksi volume serat yang relative banyak (Smallman, 2000).

2.2.2.2 Komposit Laminat (laminated composite)

Komposit Laminat merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabungkan menjadi satu dan setiap lapisannya memiliki karakteristik khusus. Komposit laminat ini terdiri dari empat jenis yaitu komposit serat kontinyu, komposit serat anyam, komposit serat acak dan komposit serat *hybrid*, dapat dilihat pada gambar 2.3



Gambar 2.3 Mikrostruktur Lamina (Widodo, 2008)

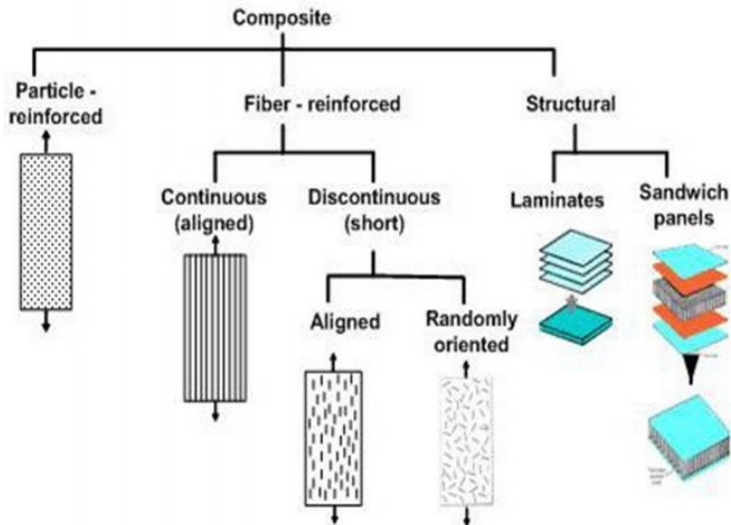
2.2.2.3 Komposit Partikel (particulated composite)

Komposit Partikel merupakan komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai penguatnya dan

terdistribusi secara merata dalam matrik. Komposit yang terdiri dari partikel dan matrik yaitu butiran (batu, pasir) yang diperkuat dengan semen dan sering kita jumpai sebagai beton, senyawa kompleks ke dalam senyawa kompleks. Komposit partikel merupakan produk yang dihasilkan dengan menempatkan partikel-partikel dan sekaligus mengikatnya dengan suatu matriks bersama-sama dengan satu atau lebih unsur-unsur perlakuan seperti panas, tekanan, kelembaban, katalisator dan lain-lain. Komposit partikel ini berbeda dengan jenis serat acak sehingga bersifat isotropis. Kekuatan komposit serat dipengaruhi oleh tegangan koheren di antara fase partikel dan matrik yang menunjukkan sambungan yang baik.

2.2.2.4 Komposit serpihan (*flake composite*)

Komposit serpihan terdiri atas serpihan-serpihan yang saling menahan dengan mengikat permukaan atau dimasukkan ke dalam matrik. Pengertian dari serpihan adalah partikel kecil yang telah ditentukan sebelumnya yang dihasilkan dalam peralatan yang khusus dengan orientasi serat sejajar permukaannya. Sifat-sifat khusus yang dapat diperoleh dari serpihan adalah bentuknya besar dan datar sehingga dapat disusun dengan rapat untuk menghasilkan suatu bahan penguat yang tinggi untuk luas penampang lintang tertentu. Pada umumnya serpihan-serpihan saling tumpang tindih pada suatu komposit sehingga dapat membentuk lintasan fluida ataupun uap yang dapat mengurangi kerusakan mekanis karena penetrasi atau perembesan, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Bagan Klasifikasi Komposit (Ramatawa, 2008)

2.2.3 Unsur-Unsur Utama Pembentuk Komposit *Fiber Reinforced Plastics (FRP)*

Fiber Reinforced Plastics (FRP) mempunyai dua unsur bahan yaitu serat (*fiber*) dan bahan pengikat serat yang disebut dengan matrik. Unsur utama dari bahan komposit adalah serat, serat inilah yang menentukan karakteristik suatu bahan seperti kekuatan, keuletan, kekakuan dan sifat mekanik yang lain. Serat menahan sebagian besar gaya yang bekerja pada material komposit, sedangkan matrik mengikat serat, melindungi dan meneruskan gaya antar serat (Van Vlack, 2005). Secara prinsip, komposit dapat tersusun dari berbagai kombinasi dua atau lebih bahan, baik bahan logam, bahan organik, maupun bahan non organik. Namun demikian bentuk dari unsur-unsur pokok bahan komposit adalah *fibers, particles, leminae or layers, flakes fillers and matrix*. Matrik sering disebut unsur pokok *body*, karena sebagian besar terdiri dari matrik yang melengkap komposit (Van Vlack, 2005).

2.2.3.1 Serat

Serat atau *fiber* dalam bahan komposit berperan sebagai bagian utama yang menahan beban, sehingga besar kecilnya kekuatan bahan komposit sangat tergantung dari kekuatan serat pembentuknya. Semakin kecil bahan (diameter serat mendekati ukuran kristal) maka semakin kuat bahan tersebut, karena minimnya cacat pada material (Triyono & Diharjo, 2000). Selain itu serat (*fiber*) juga merupakan unsur yang terpenting, karena seratlah nantinya yang akan menentukan sifat mekanik komposit tersebut seperti kekakuan, keuletan, kekuatan dsb. Fungsi utama dari serat adalah:

1. Sebagai pembawa beban. Dalam struktur komposit 70%-90% beban dibawa oleh serat.
2. Memberikan sifat kekakuan, kekuatan, stabilitas panas dan sifat-sifat lain dalam komposit.
3. Memberikan insulasi kelistrikan (konduktivitas) pada komposit, tetapi ini tergantung dari serat yang digunakan.

2.2.3.2 Matrik

Menurut (Gibson, 1994), bahwa matrik dalam struktur komposit dapat berasal dari bahan polimer, logam, maupun keramik. Syarat pokok matrik yang digunakan dalam komposit adalah matrik harus bisa meneruskan beban, sehingga serat harus bisa melekat. Komposit dibentuk dari dua jenis material yang berbeda, yaitu:

1. Penguat (*reinforcement*), yang mempunyai sifat kurang *ductilen* tetapi lebih *rigid* serta lebih kuat.
2. Matrik, umumnya lebih *ductile* tetapi mempunyai kekuatan dan rigiditas yang lebih rendah.

Pada material komposit sifat unsur pendukungnya masih terlihat dengan jelas, sedangkan pada *alloy* paduan sudah tidak kelihatan lagi unsur-unsur pendukungnya. Salah satu keunggulan dari material komposit bila dibandingkan dengan material lainnya adalah penggabungan unsur-unsur yang unggul dari masing-masing unsur pembentuknya tersebut. Sifat material hasil penggabungan ini diharapkan dapat saling melengkapi kelemahan-

kelemahan yang ada pada masing-masing material penyusunnya. Sifat-sifat yang dapat diperbaharui (Jones, 1975). antara lain:

- a. Kekuatan (*strength*).
- b. Ketahanan korosi (*Corrosion resistance*).
- c. Ketahanan gesek/aus (*Wear resistance*).
- d. Berat (*Weight*).
- e. Ketahanan lelah (*Fatigue life*).
- f. Meningkatkan konduktivitas panas.
- g. Tahan lama.

Secara alami kemampuan tersebut, tidak ada semua pada waktu yang bersamaan (Jones, 1975). Sekarang ini perkembangan teknologi komposit mulai berkembang dengan pesat. Komposit sekarang ini digunakan dalam berbagai variasi komponen antara lain untuk otomotif, pesawat terbang, pesawat luar angkasa, kapal dan alat-alat olah raga seperti ski, *golf*, raket tenis dan lain-lain, Pada matrik dan kompatibel antara serat dan matrik. Umumnya matrik dipilih yang mempunyai ketahanan panas yang tinggi (Triyono & Diharjo, 2000). Matrik yang digunakan dalam komposit adalah harus mampu meneruskan beban sehingga serat harus bisa melekat pada matrik dan kompatibel antara serat dan matrik artinya tidak ada reaksi yang mengganggu. Menurut Diharjo, pada bahan komposit matrik mempunyai kegunaan yaitu sebagai berikut:

1. Matrik memegang dan mempertahankan serat pada posisinya.
2. Pada saat pembebanan, merubah bentuk dan mendistribusikan tegangan ke unsur utamanya yaitu serat.
3. Memberikan sifat tertentu, misalnya *ductility*, *toughness* dan *electrical insulation*.

2.2.4 Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit

Serat tandan kosong kelapa sawit adalah bonggol dari buah kelapa sawit. Nama ilmiah dari pohon kelapa adalah *palm oil*. Ada dua jenis serat kelapa sawit, yaitu serat tandan kosong dari bonggol kelapa sawit dan serat buah yang diekstrak dari buah kelapa sawit. Pada pembangkit boiler, bahan baku yang paling sering digunakan

adalah serat buah kelapa sawit karena kadugan karbonnya relatif rendah, berbeda dengan serat tandan kosong kelapa sawit kandungan karbonnya terlalu banyak yang menyebabkan asap hitam pada pembuangan, kuat, dan mempunyai ketahanan *abrasive* yang tinggi. Serat putih lebih halus dan lebih lemah dari serat coklat. Serat tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan salah satu serat alami yang dihasilkan dari limbah pengolahan minyak kelapa sawit (CPO). Industri minyak kelapa sawit akan menghasilkan limbah TKKS sebesar 1.1 ton untuk setiap 1 ton CPO yang diproduksi. Serat kelapa coklat biasanya diaplikasikan untuk campuran pembuatan beton agar didapatkan kekuatan beton yang lebih baik. Ditinjau dari sifat fisik, morfologi, dan komposisi kimia, TKKS dapat digunakan sebagai bahan baku potensial untuk pengisi atau penguat komposit polimer. Hal ini disebabkan kandungan selulosa pada TKKS yang cukup besar mencapai sekitar 65 %.

Tabel 2.4 *Properties* Serat Kelapa Sawit (Ali, 2012)

<i>Density</i>	1.03 g/cm ³
<i>Tensile Stress</i>	377 MPa
<i>Tensile Strain</i>	13.71

2.2.5 Resin Phenolic

Resin phenolic, merupakan resin sintetik yang dibuat dengan mereaksikan *phenol* dengan *formaldehida*, wujudnya keras, kuat, awet dan dapat dicetak pada berbagai kondisi. *Resin phenol* termasuk dalam golongan polimer termoset yang mempunyai rumus kimia $C_7H_8O_2$.

Resin phenol mempunyai daya tahan panas dan air dan dapat diberi macam-macam warna, serta tidak menimbulkan efek racun. *Resin* ini sering digunakan sebagai bahan pelapis dan *laminating*, pengikat batu gerinda, pengikat logam atau gelas. *Resin phenolic* dapat diolah kedalam berbagai bentuk seperti lembaran, plat, batang dan lain-lain.

Tabel 2.5 *Properties of phenolic resin*

<i>Tensile Strength</i>	85 MPa
<i>Tensile Modulus</i>	10500 Mpa
<i>Compressive Strength</i>	190 MPa
<i>Water Absorption</i>	5-10 mg at 24h, 23°C

Bahan *epoxy* cenderung mengeras secara bertahap. Berbeda dengan bahan *poliester* yang cenderung mengeras dengan cepat, terutama jika katalis yang digunakan dalam reaksi merupakan katalis eksotermik. Semakin besar jumlah katalis yang digunakan, laju reaksi akan meningkat dan panas yang dihasilkan akan semakin besar.

2.2.6 Alumina

Alumina atau aluminium oksida adalah senyawa kimia dari aluminium dan oksigen dengan rumus kimia Al_2O_3 . Alumina diketahui merupakan insulator listrik yang baik sehingga digunakan secara luas sebagai bahan isolator suhu tinggi karena memiliki kapasitas panas yang besar. Sifat lain dari alumina yang sangat mendukung aplikasinya adalah daya tahan terhadap korosi dan titik lebur yang tinggi hingga mencapai 2053 °C - 2072 °C.

Tabel 2.6 Properties of 99.5% Aluminum Oxide in Room Temperature (Accuratus corporation, 2013)

99.5% Aluminum Oxide			
Mechanical	Units of Measure	SI/Metric	(Imperial)
Density	gm/cc (lb/ft ³)	3.89	(242.8)
Porosity	% (%)	0	(0)
Color	—	ivory	—
Flexural Strength	MPa (lb/in ² ×10 ³)	379	(55)
Elastic Modulus	GPa (lb/in ² ×10 ⁶)	375	(54.4)
Shear Modulus	GPa (lb/in ² ×10 ⁶)	152	(22)
Bulk Modulus	GPa (lb/in ² ×10 ⁶)	228	(33)
Poisson's Ratio	—	0.22	(0.22)
Compressive Strength	MPa (lb/in ² ×10 ³)	2600	(377)
Hardness	Kg/mm ²	1440	—
Fracture Toughness K _{IC}	MPa•m ^{1/2}	4	—
Maximum Use Temperature (no load)	°C (°F)	1750	(3180)
Thermal			
Thermal Conductivity	W/m•K (BTU•in/ft ² •hr•°F)	35	(243)
Coefficient of Thermal Expansion	10 ⁻⁶ /°C (10 ⁻⁶ /°F)	8.4	(4.7)
Specific Heat	J/Kg•°K (Btu/lb•°F)	880	(0.21)
Electrical			
Dielectric Strength	ac-kv/mm (volts/mil)	16.9	(420)
Dielectric Constant	@ 1 MHz	9.8	(9.8)
Dissipation Factor	@ 1 kHz	0.0002	(0.0002)
Loss Tangent	@ 1 kHz	—	—
Volume Resistivity	ohm•cm	>10 ¹⁴	—

Tabel 2.6 adalah tabel sifat-sifat alumina pada presentase 99.5%. Pada kondisi demikian, alumina mempunyai kekuatan tinggi pada 1440 Kg/mm² dan mampu bertahan hingga 1750 °C.

2.2.7 Magnesium Oksida

Magnesium adalah unsur kedelapan yang paling berlimpah sekitar 2% dari berat kerak bumi dan merupakan unsur yang paling banyak ketiga yang terlarut dalam air laut. Magnesium Oksida (MgO) adalah material berstruktur logam yang sangat ringan dengan berat jenis 3.54 mg/m³ dan mempunyai titik *melting* tinggi yaitu 2852 °C. MgO juga merupakan bahan yang anti abrasi. MgO dikenal sebagai bahan tahan api, yaitu padatan yang secara fisik serta kimiawi stabil pada suhu tinggi.

2.2.8 Material Rem Kereta Api

Pemakaian blok rem komposit menggantikan blok rem berbahan besi cor untuk kampas kereta api di Indonesia sudah dimulai sejak dasawarsa terakhir. Blok rem komposit pada mulanya diperkenalkan di Indonesia oleh para importir asing dengan blok rem merek *Fituris* (Australia), *Ferodo* (Inggris), *Marquist* (China), *Nabco* (Jepang) dan dari Sideria (Ipung Kurniawan, et.all., 2011). Baru sejak tahun 2002 blok rem komposit diproduksi di tanah air, dan saat ini sudah ada sekurangnya 3 pabrik blok rem komposit lokal dan dua diantaranya telah mendapat sertifikasi dari PT. KAI (Agung, 2009). Blok rem yang terbuat dari material besi cor mempunyai berat 11-12 kg. Blok rem seberat ini dapat mempersulit proses pemasangan atau biaya pemasangan yang tinggi. Umur pemakaian hanya mencapai satu bulan dan nilai jual bahan bekasnya masih relatif tinggi (Agung, 2009).

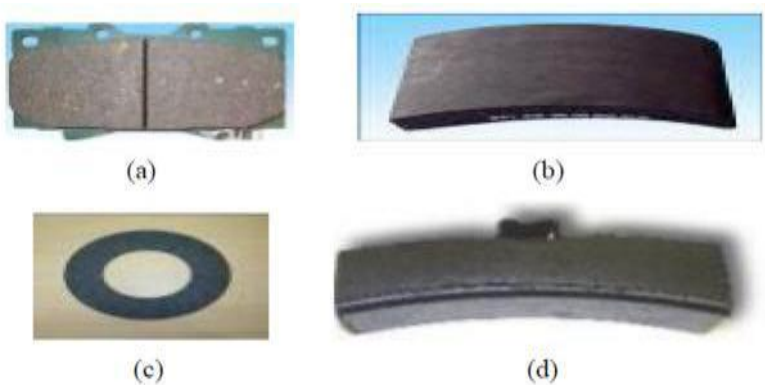
Berbagai macam usaha dilakukan untuk mencari alternatif material yang mempunyai sifat ringan, keras dan tahan aus sebagai pengganti blok rem berbahan besi cor. Namun demikian hasil yang diperoleh belum bisa seperti yang diharapkan. Salah satu upaya yang telah ditempuh adalah menggabungkan dua material penyusunnya, yaitu matrik dan penguat (Ipung, 2011). Keunggulan dari blok rem berbahan komposit adalah tidak memiliki *salvage value* atau nilai jual bahan bekasnya tidak ekonomis, sehingga anti pencurian. Disamping itu gesekan dengan roda tidak menimbulkan percikan api sehingga sangat layak untuk aplikasi di kereta barang (kereta *parcel*) khususnya kereta yang mengangkut bahan yang *explosive* seperti minyak atau gas dan lain lain. Penggantian blok rem metalik (*Cast Iron*) menjadi blok rem komposit dengan mempertimbangkan aspek ekonomis dimana kampas rem komposit memiliki keunggulan dibanding rem metalik. Keunggulan blok rem komposit adalah sebagai berikut :

1. Rem komposit memiliki umur ekonomis 3 kali lipat dibanding blok rem besi cor (bisa bertahan 3 bulan).

2. Rem komposit lebih ringan, sehingga memudahkan penggantian (*replacement*).
3. Rem komposit memiliki harga lebih murah, karena usia pakai lebih panjang
4. Rem komposit tidak rawan pencurian karena tidak bisa dijual kiloan seperti rem besi (metalik).
5. Rem komposit tidak memercikkan api yang terjadi saat pengereman (gesekan) sehingga aman jika digunakan untuk karena yang mengangkut bahan bakar seperti minyak, gas, batubara dan lain-lain.

Bahkan menurut rencana secara gradual PT KAI akan mengganti rem blok metalik (*Cast Iron*) menjadi rem blok komposit, karena alasan ekonomis, dengan memakai rem blok komposit maka efisiensi yang didapat hampir 3 kali dibanding rem blok metalik (*Cast Iron*). Rem jenis ini telah digunakan di perkeretaapian PT.KAI dan juga di luar negeri seperti di Jepang, Eropa, Australia dan beberapa negara tetangga di Asia, seperti Malaysia, Thailand dan India (Agung, 2009).

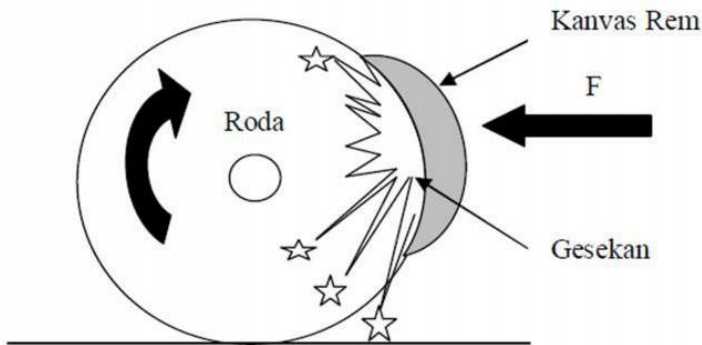
Bagaimanapun blok rem komposit harus tahan aus atau memiliki ketahanan aus minimal 3 bulan (umur ekonomis), memiliki bobot ringan, memiliki sifat ulet, cukup keras tapi tidak mudah pecah/hancur, dan memiliki konduktivitas panas tertentu untuk menghantarkan panas yang timbul akibat gaya gesek radial, sehingga panas tidak berbalik ke roda yang menyebabkan *thermal crack* (Agung, 2009). Dapat dilihat pada gambar 2.7 bagian-bagian pada rem.



Gambar 2.5 Aplikasi Material Gesek Pada Rem Kereta Api: a) Brake Pad, b) Brake Lining, c) Kopling, d) Rem Kereta Api (Rachman, 2010).

2.2.9 Konsep Dasar Pengereman

Sistem rem dalam suatu kendaraan termasuk sistem yang sangat penting karena berkaitan dengan faktor keselamatan berkendara. Prinsip kerja sistem rem adalah mengubah tenaga kinetik menjadi panas dengan cara menggesekkan dua buah benda yang berbeda berputar sehingga putarannya akan melambat. Oleh sebab itu komponen rem yang bergesekan ini harus tahan terhadap gesekan tidak mudah aus, (tahan panas) dan tidak mudah berubah bentuk pada saat bekerja dalam suhu tinggi (Hardianto, 2008). Ilustrasi pengereman dapat kita lihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.6 Ilustrasi Pengereman (Hardianto, 2008).

Pengereman dilakukan dengan diberikannya gaya pada kampas rem untuk menahan atau menghentikan putaran roda. Pada saat kampas bersentuhan langsung dengan roda maka akan timbul gesekan. Jarak pengereman kereta api adalah jarak yang dibutuhkan mulai saat masinis menarik tuas (*handle*) rem dengan kondisi pelayanan pengereman penuh (*full brake*) sampai dengan kereta api benar-benar berhenti. Yang dimaksud dengan pengereman penuh (*full brake*) pada rangkaian kereta api yang dilengkapi peralatan pengereman udara tekan (*Westinghouse*) adalah menurunkan tekanan udara pada pipa utama sebesar 1,4-1,6 kg/cm² (1,4-1,6 atm) melalui tuas pengereman yang dilakukan masinis di lokomotif yang menyebabkan tekanan maksimum pada silinder pengereman kereta atau gerbong mencapai 3,8 kg/cm² (3,8 atm) pada masing-masing kereta atau gerbong. Memiliki bobot ringan, memiliki sifat ulet, cukup keras tapi tidak mudah pecah/hancur, dan memiliki konduktivitas panas tertentu untuk menghantarkan panas yang timbul akibat gaya gesek radial (gaya gesekan), sehingga panas tidak berbalik ke roda yang menyebabkan *thermal crack*, memiliki modulus elastisitas cukup baik atau masuk *range* spesifikasi teknis PT.KAI yaitu antara 2400 s/d 150.000 N/cm² (Agung, 2009). Spesifikasi teknik rem komposit dapat dilihat pada tabel 2.7

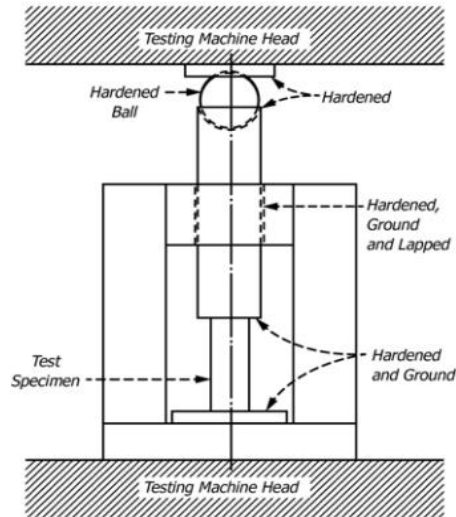
Tabel 2.7 Spesifikasi Teknik Rem Komposit PT. KAI (Hilman, 2012)

No	Sifat Fisik & Mekanik	Spesifikasi Teknik PT. KAI
1	Berat jenis, gr/cm ³	1.8 – 2.4
2	Koefisien gesek	0.14 – 0.22
3	Hardness, HRR	70 – 105
4	Crush strength, N/cm ²	Min. 2500
5	Cross breaking strength, N/cm ²	2400 – 4000
6	Shear strength, N/cm ²	1500 – 3500
7	Modulus of elasticity, N/cm ²	24000 – 150000
8	Thermal conductivity, W/m.K	Min. 0.8
9	Ketahanan panas operasional	tidak meleleh dan tidak terbakar untuk pemakaian kontinyu
	a. 250°C	
	b. 500°C	boleh terbakar namun tidak menimbulkan nyala api

2.3 Pengujian

2.3.1 Uji Tekan

Kekuatan tekan atau kompresi merupakan kapasitas dari suatu bahan atau material dalam menahan beban yang akan mengurangi ukurannya. Kekuatan tekan dapat diukur melalui kurva tegangan-regangan yang didapat dari hasil pengujian. Pada pengujian ini mengacu kepada ASTM D695. Pada ASTM D695 disebutkan bahwa spesimen uji dapat berbentuk prisma maupun silinder, dengan ukuran panjang x lebar x tinggi 12.7 mm x 12.7 mm x 25,4 mm atau diameter x tinggi 12,7 mm x 25,4 mm.

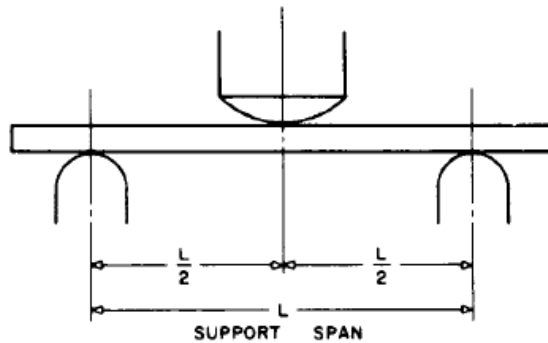


Gambar 2.7 Ilustrasi Pengujian Kekuatan Tekan (ASTM D695)

Pada pengujian ini spesimen akan ditekan secara vertical kebawah dengan mesin kompresi. Hasil yang didapat dari pengujian berupa kurva tegangan dan regangan material sampai material tersebut patah atau *fracture*, serta pembebanan maksimum sesaat sebelum material patah. Hasil yang diharapkan dari pengujian ini merupakan nilai dari *crush strength* dari material, dimana menurut standar PT Inka harus melebihi 2400 N/cm^2 .

2.3.2 Uji Lentur

Kekuatan lentur merupakan kapasitas maksimum dari suatu bahan atau material dalam menahan pembebanan *bending* atau lentur sampai material itu berubah bentuk atau patah. Pengujian ini dilakukan dengan meletakkan spesimen berbentuk balok panjang dengan rasio *span to depth* 16:1. Spesimen akan ditopang dengan 2 pengopang seperti pada gambar 2.10.



Gambar 2.8 Ilustrasi Pengujian Kelenturan (ASTM D790)

Pengujian ini mengacu pada ASTM D790. Pengujian akan dilakukan dengan melakukan pembebanan pada titik tengah diantara ke dua tumpuan sampai material tersebut patah. Hasil yang didapatkan dari pengujian adalah pembebanan maksimum dari material sesaat sebelum patah. Dari hasil tersebut dapat diketahui nilai kekuatan lenturnya dengan menghitung dengan persamaan sebagai berikut (ASTM D790):

$$\sigma_f = 3PL/2bd^2 \dots\dots\dots (1)$$

Dengan Keterangan:

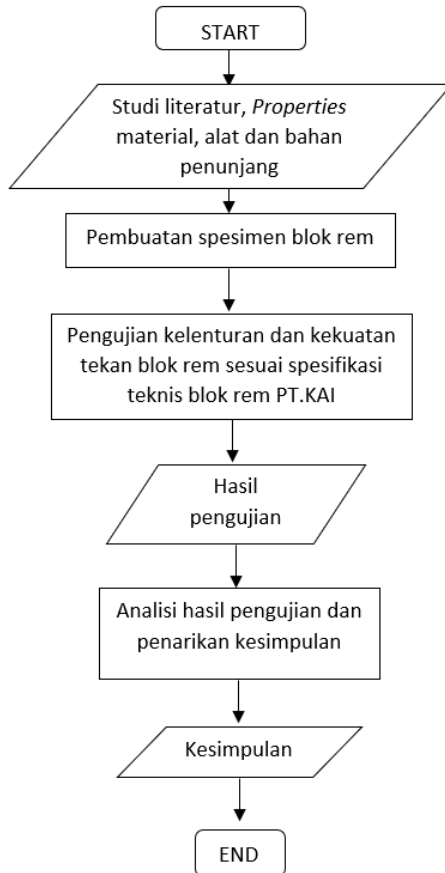
- σ = stress in the outer fibers at midpoint, MPa [psi],
- P = load at a given point on the load-deflection curve, N [lbf],
- L = support span, mm [in.],
- b = width of beam tested, mm [in.], and
- d = depth of beam tested, mm [in.].

(halaman ini sengaja dikosongkan)

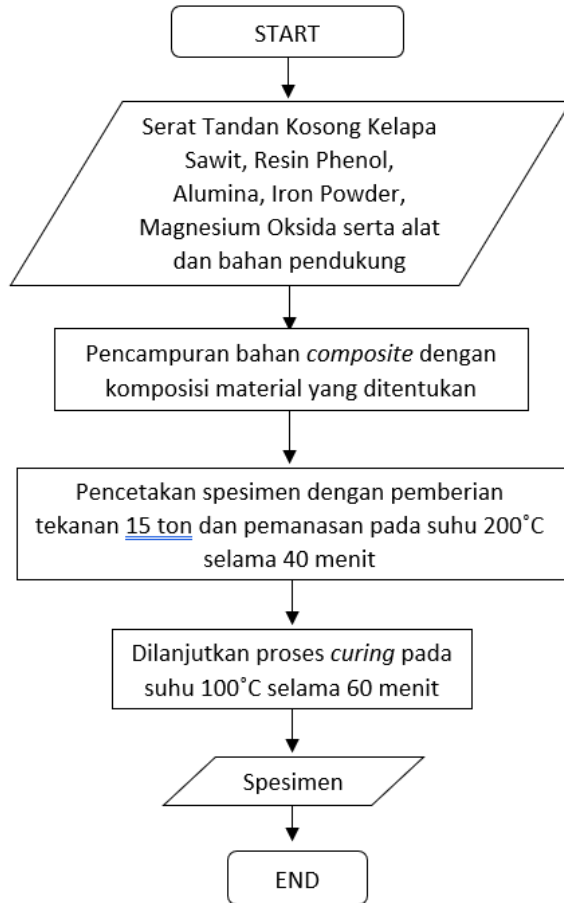
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Adapun diagram alir dalam rangkaian penelitian ini dibedakan menjadi beberapa jenis, diantaranya diagram alir rangkaian penelitian, diagram alir simulasi, dan diagram alir eksperimen.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir Eksperimen Pembuatan Blok Rem Komposit

3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui informasi-informasi terkait penelitian yang akan dilakukan. Informasi didapatkan dari beberapa media diantaranya artikel, jurnal, *standart* dan *internet*. Adapun informasi yang didapatkan adalah:

1. Hasil Penelitian Sebelumnya
Hasil penelitian sebelumnya tentang penggunaan serat tandan kosong kelapa sawit secara umum sebagai penguat material komposit dalam berbagai bidang khususnya pada material dengan ketahanan abrasi yang tinggi serta aplikasinya pada blok rem kereta api.
2. Al_2O_3 , *Iron Powder* dan MgO sebagai *Friction Modifier*
Literatur yang digunakan berupa *data sheet* Al_2O_3 , *Iron Powder* dan MgO yang dikeluarkan oleh pabrikaan. *Data sheet* berisi *properties* serta informasi pendukung terkait.
3. Standart Pengujian
Pengujian material yang digunakan yaitu sesuai spesifikasi teknis blok rem/*brake shoe* PT INKA yang mengacu pada standar pengujian ASTM.

3.3 Eksperimen Awal

Sebelumnya telah dibuat material komposit serat tandan kosong kelapa sawit-*phenol-friction modifier* seperti yang ada pada gambar 3.3 dan dilakukan pengambilan data awal berupa kekerasan, kelentuan, dan kekuatan tekan pada blok rem material komposit. Pengujian awal bertujuan untuk mengevaluasi komposisi komposit yang telah ditetapkan. Berikut merupakan komposisi awal pembuatan blok rem komposit.

Tabel 3.1 Komposisi awal blok rem komposit

Material	Fraksi Volume
Tandan Kosong Kelapa Sawit	20%

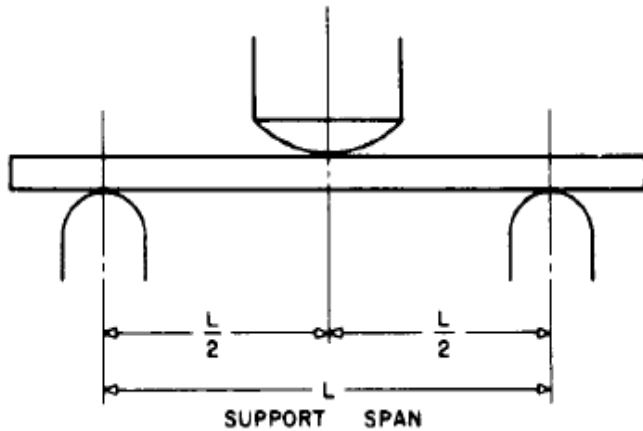
Alumina	25%
Magnesium Oksida	10%
Resin Phenol	30%
Iron Powder	15%



Gambar 3.3 Material Komposit Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit-Phenol-Friction Modifier

3.3.1 Pengujian Kelenturan

Pengujian kelenturan dilakukan menggunakan metode sesuai dengan ASTM D790. Pengujian ini dilakukan dengan meletakkan spesimen berbentuk balok panjang dengan ukuran rasio *span to depth* 16:1. Pada pengujian ini spesimen akan ditopang dengan 2 penipang sesuai dengan ilustrasi. Ukuran spesimen yang digunakan adalah panjang 100 mm, lebar 10 mm, dan tinggi 5 mm.



Gambar 3.4 Ilustrasi Pengujian Kelenturan (ASTM D790)

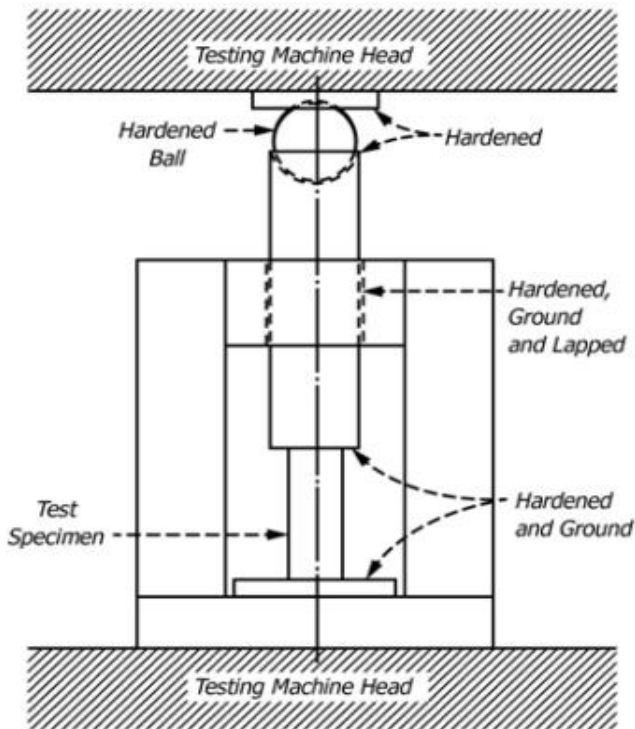
Hasil pengujian kelenturan dari spesimen blok rem komposit harus berada diantara $24 - 40 \text{ N/mm}^2$. Pada eksperimen awal yang telah dilakukan didapatkan nilai kelenturan sebesar $22,966 \text{ N/mm}^2$ dan $18,007 \text{ N/mm}^2$. Data hasil pengujian kelenturan sebagai berikut:

Tabel 3.2 Hasil Pengujian Kelenturan

No.	Parameter	Satuan	Hasil uji 1	Hasil uji 2
1	Tebal	mm	6.65	5.81
2	Lebar	mm	11.11	11.63
3	Luas Penampang	Mm	80	80
4	Nilai Kuat tekan	MPa	17.3	15.5
5	Beban Maksimum	N	70.7	50.7
6	Nilai <i>Flexural stress</i>	N/mm^2	22,966	18.007

3.3.2 Pengujian Kekuatan Tekan

Pengujian kekuatan tekan merupakan kapasitas dari suatu bahan atau material dalam menahan beban yang akan mengurangi ukurannya. Pada pengujian ini spesimen akan diberikan beban kompresi secara vertical hingga terjadi perubahan bentuk pada spesimen seperti ilustrasi dibawah ini. Ukuran spesimen yang digunakan adalah panjang 12,7 mm lebar 12,7 mm dan tinggi 25,4 mm.



Gambar 3.5 Ilustrasi Pengujian Kekuatan Tekan (ASTM D695)

Hasil pengujian kekuatan tekan dari spesimen blok rem komposit harus lebih besar dari 25 N/mm^2 . Pada eksperimen awal yang telah dilakukan didapatkan nilai kelenturan sebesar 50,10

N/mm^2 dan $34,02 N/mm^2$. Data hasil pengujian kekuatan tekan sebagai berikut:

Tabel 3.3 Hasil Pengujian Kekuatan Tekan

No.	Parameter	Satuan	Hasil uji 1	Hasil uji 2
1	Tebal	Mm	10,75	10.48
2	Lebar	mm	13.28	12.83
3	Luas Penampang	mm^2	142.76	134.46
4	Beban Maksimum	N	7153,7	4574,4
5	Nilai Kuat tekan	MPa	50,10	34,02

3.4 Pembuatan *Prototype* Blok Rem Komposit Kereta Api

Pembuatan *prototype* blok rem komposit menggunakan acuan geometri blok rem PT INKA. Adapun peralatan dan bahan yang digunakan dalam pembuatan tercantum pada sub bab selanjutnya.

3.4.1 Peralatan dan Bahan

Adapun peralatan dan bahan yang digunakan dalam pembuatan *prototype* blok rem komposit adalah sebagai berikut:

Alat:

1. Alat keselamatan : Sarung tangan, masker, kacamata, celemek.
2. Alat bantu : Penggaris, gunting, cutter, gerinda, kuas, penjepit, kertas gosok, cetakan, jangka sorong, dan timbangan.

Bahan:

1. Serat tandan kosong kelapa sawit
2. *Phenol resin* dan *hardener*
3. Al_2O_3
4. Iron Powder

5. MgO
6. Blok rem
7. PVA

Dan peralatan dan bahan lain yang menunjang.

3.4.2 Langkah – Langkah

Adapun langkah – langkah yang dilakukan dalam pembuatan *prototype* blok rem komposit adalah sebagai berikut:

1. Persiapan alat dan bahan.
2. Serat tandan kosong kelapa sawit dibersihkan dengan direndam air panas selama 1 jam
3. Serat kelapa yang telah dibersihkan dikeringkan pada paparan sinar matahari selama 1 hari
4. Serat kelapa di-*chop* (dipotong kecil-kecil) dengan panjang ± 1 cm
5. Serat tandan kosong kelapa sawit, resin *Phenol, hardener*, Al_2O_3 , Iron Powder dan MgO ditimbang sesuai dengan ketentuan
6. Serat tandan kosong kelapa sawit, resin *Phenol, hardener*, Al_2O_3 , Iron Powder dan MgO dicampur menjadi satu adonan.
7. Adonan diletakan di cetakan
8. Cetakan ditekan dengan diberi torsi sebesar 15 ton dan sekaligus dimasukan ke dalam *furnace* dengan suhu 200°C selama 40 menit.
9. Dilanjutkan proses *curing* atau pengeringan pada suhu 100°C selama 60 menit.
10. *Prototype* blok rem dikeluarkan dari cetakan secara perlahan.

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Variasi Komposisi Komposit

Penentuan komposisi pada blok rem komposit kereta api ditujukan untuk mendapatkan komposisi optimum komposit serat TKKS – *resin phenol*, alumina, *iron powder* dan magnesium oksida sesuai dengan standard yang telah ditentukan oleh PT.KAI terlebih khusus pada standard kekuatan tekan dan kekuatan lentur. Komposisi pada eksperimen awal yang telah dilakukan adalah dengan komposisi serat TKKS sebesar 20%, *resin phenol* 30%, alumina 25%, *iron powder* 15% dan magnesium oksida 10%. Pada Tabel 4.1 menunjukkan variasi komposisi blok rem komposit yang akan dibuat dan dievaluasi.

Tabel 4.1 Variasi Komposisi Kampas Rem Komposit

	TKKS (%)	<i>Resin phenol</i> (%)	Alumina (%)	<i>Iron powder</i> (%)	Magnesium oksida (%)
Komposisi 1	20 %	30 %	25 %	15 %	10 %
Komposisi 2	15 %	30 %	25 %	15 %	15 %
Komposisi 3	10 %	30 %	25 %	15 %	20 %

Dari masing-masing komposisi dilakukan pengujian kekuatan tekan dan kekuatan lentur sesuai dengan ASTM yang ditentukan.

4.1.1 Perhitungan Rule of Mixture

Sebelum dilakukan pembuatan dan pengujian dari komposit dilakukan perhitungan *rule of mixture* untuk mengetahui kekuatan komposit secara teoritis dengan menggunakan penjumlahan kekuatan tiap komponen komponen menggunakan fraksi volume tiap penyusunnya. Perhitungan dari *Rules Of Mixture* (ROM) dilakukan pada

masing masing variasi komposisi komposit . Pada table 4.2 membahas mengenai *Rules Of Mixture* dari komposit dengan perbandingan dengan kekuatan tekan dari tiap material sedangkan untuk table 4.3 membahas mengenai *Rules Of Mixture* dari komposit dengan perbandingan dengan kekuatan lentur dari tiap material

Tabel 4.2 Perbandingan Rules Of Mixture terhadap kekuatan tekan

No	Material	Compressive Strength (Mpa)	Komposisi 1		Komposisi 2		Komposisi 3	
1	TKKS	300	0.2	53.88 Mpa	0.15	51.71 Mpa	0.1	49.54 Mpa
2	MgO	83	0.1		0.15		0.2	
3	Iron Powder	110	0.15		0.15		0.15	
4	Alumina	490	0.25		0.25		0.25	
5	Resin Phenol	207	0.3		0.3		0.3	

Tabel 4.3 Perbandingan Rules Of Mixture terhadap kekuatan lentur

No	Material	Tensile Strength(Mpa)	Komposisi 1		Komposisi 2		Komposisi 3	
1	TKKS	215	0.2	35.947 Mpa	0.15	35.045 Mpa	0.1	34.144 Mpa
2	MgO	124.85	0.1		0.15		0.2	
3	Iron Powder	540	0.15		0.15		0.15	
4	Alumina	113	0.25		0.25		0.25	
5	Resin Phenol	50	0.3		0.3		0.3	

4.2 Eksperimen dan Hasil Eksperimen

Untuk mengetahui kemampaan dari blok rem komposit, pada tahap eksperimen akan dibuat tiga macam blok rem komposit dengan komposisi yang telah ditentukan pada table 4.1. Material

rem komposit akan ditinjau dari dua aspek, yaitu aspek kekuatan tekan dan aspek kekuatan lentur dari material tersebut.

4.2.1 Pembuatan Kampas Rem

Pembuatan kampas rem sesuai dengan langkah-langkah yang tertulis pada bab 3. Pembuatan sampel sebanyak 3 variasi dan satu buah *prototype* blok rem komposit dengan variasi komposisi 1, komposisi 2, dan komposisi 3 sesuai dengan variasi yang telah ditentukan. Pembuatan blok rem komposit dilakukan dengan melakukan pencampuran material-material yang kemudian dilakukan penekanan sebesar 15 ton diiringi pemanasan sebesar 200°C selama 40 menit, dan kemudian dilakukan proses curing selama 60 menit pada suhu 100°C. Berikut merupakan hasil pembuatan blok rem komposit TKKS – *resin phenol*-alumina-iron powder-magnesium oksida:



Gambar 4.1 Variasi Blok Rem komposit 1



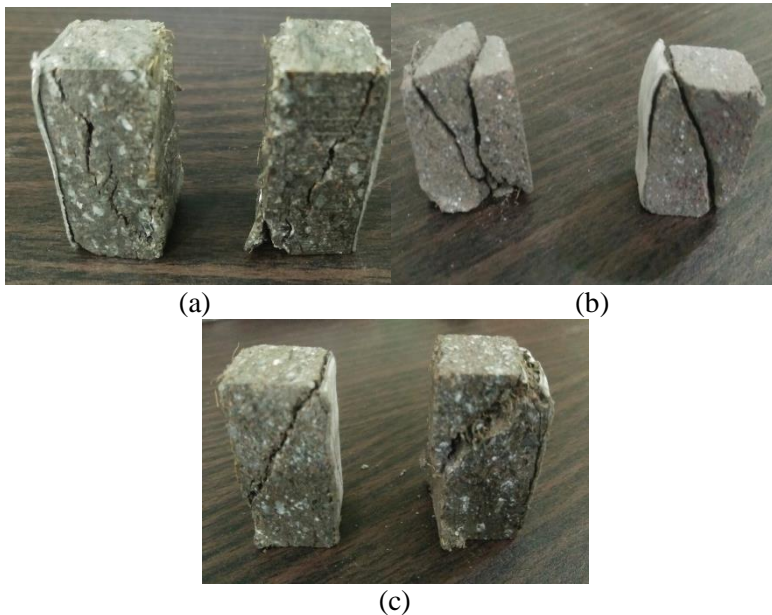
Gambar 4.2 Variasi Blok Rem Komposit 2



Gambar 4.3 Variasi Blok Rem Komposit 3

4.2.2 Kekuatan Tekan Material

Pengujian kekuatan tekan dilakukan dengan ketentuan yang ada pada ASTM D695. Pengujian dilakukan dengan pemberian penekanan pada material benda uji dengan ukuran spesimen, yaitu: panjang 12,7 mm lebar 12,7 mm dan tinggi 25,4 mm. Pengujian dilakukan sampai material spesimen rusak.



Gambar 4.4 (a) Spesimen Pengujian Tekan Komposisi 1 (b) Spesimen Pengujian Tekan Komposisi 3 (c) Spesimen Pengujian Tekan Komposisi 3

Pengujian yang dilakukan menggunakan 2 sampel pada setiap komposisi yang ada. Setiap komposisi memiliki 2 nilai hasil pengujian dan 1 hasil rata-rata yang akan ditampilkan pada tabel 4.4 sampai 4.6 , serta perbandingan nilai tiap komposisinya pada grafik 4.5

Tabel 4.4 Nilai Kekuatan Tekan Material Komposisi 1

No .	Parameter Uji	Satuan	Komposisi 1		
			Hasil Uji 1	Hasil uji 2	Average
1	Panjang	mm	10.75	10.48	10.615
2	Lebar	mm	13.28	12.83	13.055
3	Luas Penampang	mm ²	142.76	134.46	138.61

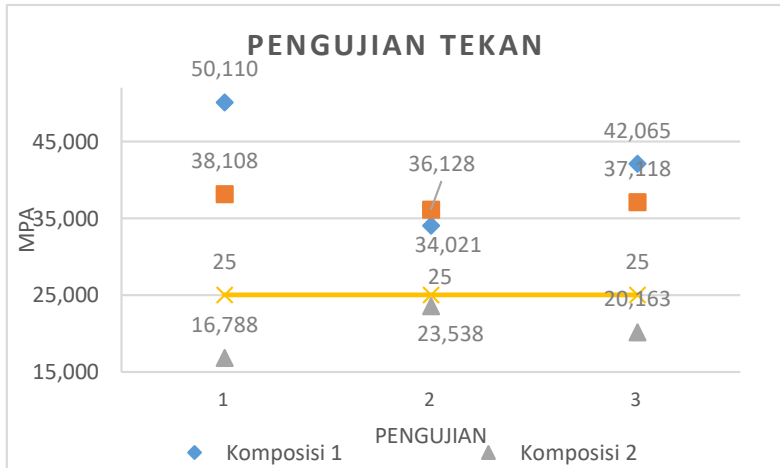
4	Beban Maksimum	N	7153.7	4574.4	5864.05
5	Nilai Kekuatan Tekan	Mpa	50.109	34.020	42.065

Tabel 4.5 Nilai Kekuatan Tekan Material Komposisi 2

No.	Parameter Uji	Satuan	Komposisi 2		
			Hasil Uji 1	Hasil Uji 2	Average
1	Panjang	mm	13.2	14.3	13.75
2	Lebar	mm	13.6	13.8	13.7
3	Luas Penampang	mm ²	179.5	197.3	188.4
4	Beban Maksimum	N	3013.5	4644	3828.75
5	Nilai Kekuatan Tekan	Mpa	16.788	23.537	20.163

Tabel 4.6 Nilai Kekuatan Tekan Material Komposisi 3

No.	Parameter Uji	Satuan	Komposisi 3		
			Hasil Uji 1	Hasil Uji 2	Average
1	Panjang	mm	11.9	12.2	12.05
2	Lebar	mm	12.5	13.8	13.15
3	Luas Penampang	mm ²	148.75	168.4	158.575
4	Beban Maksimum	N	5668.5	6084	5876.25
5	Nilai Kekuatan Tekan	Mpa	38.107	36.128	37.118

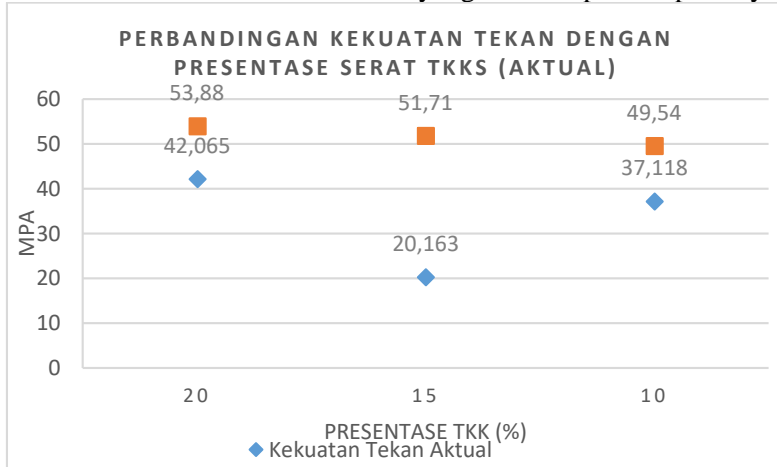


Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Kekuatan Tekan pada tiap komposisi

Pada grafik 4.5 didapatkan hasil pengujian dengan nilai kekuatan tekan pada komposisi 1 adalah 50,109 Mpa dan 34,02 Mpa dengan nilai rata-rata 42,065 Mpa, sedangkan untuk komposisi 2 didapatkan nilai kekuatan tekan sebesar 16,788 Mpa dan 23,537 MPa dengan nilai rata-rata sebesar 20,163Mpa, pada komposisi 3 nilai yang didapatkan adalah 38,107 Mpa dan 36.128 Mpa dengan nilai rata-rata sebesar 37,118 Mpa, Kekuatan tekan tertinggi terdapat pada komposisi 1 dengan nilai 50,109 dan nilai kekuatan tekan terendah terdapat pada komposisi 2 yaitu sebesar 16,788 Mpa.

Pada komposisi 1 dan komposisi 2 terdapat hasil pengujian yang memiliki range kekuatan yang cukup besar. Hal ini dapat menunjukkan bahwa persebaran penguat, dalam hal ini serat tandan kosong kelapa sawit, tidak homogen. Persebaran dari serat tidak homogen dapat diakibatkan penggumpalan serat yang terjadi pada saat pengadukan maupun penuangan bahan kedalam cetakan. Hal ini juga dapat disebabkan oleh kurangnya daya tekan atau daya

tekan yang tidak merata pada saat proses pembuatan sehingga menimbulkan nilai kekuatan tekan yang berbeda pada tiap sisinya.



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Kekuatan Tekan dengan presentase serat TKKS

Pada grafik 4.6 menunjukkan perbandingan antara kekuatan tekan komposit teoritis dan actual. Kekuatan tekan komposit teoritis memiliki *trendline* yang menurun dari tiap variasi komposisi, sedangkan pada kekuatan tekan aktual tidak terjadi *trendline* yang sama. Pada kekuatan tekan aktual komposisi terdapat penurunan kekuatan dan tidak sesuai dengan teori, bahkan lebih rendah dibandingkan dengan kekuatan tekan aktual komposisi 3. Kekuatan tekan teoritis memiliki nilai yang lebih tinggi daripada nilai yang didapat pada saat pengujian. Perbedaan kekuatan tekan teoritis dan aktual dapat disebabkan oleh penyebaran dari komposisi material komposit yang tidak merata sehingga menurunkan nilai kekuatan tekan dari material tersebut. Penurunan nilai tekan juga dapat disebabkan oleh proses pembuatan dari komposit yang kurang baik, seperti kurangnya penekanan pada saat pembuatan material komposit yang tidak maksimal sehingga kerapatan massa dari material yang kurang

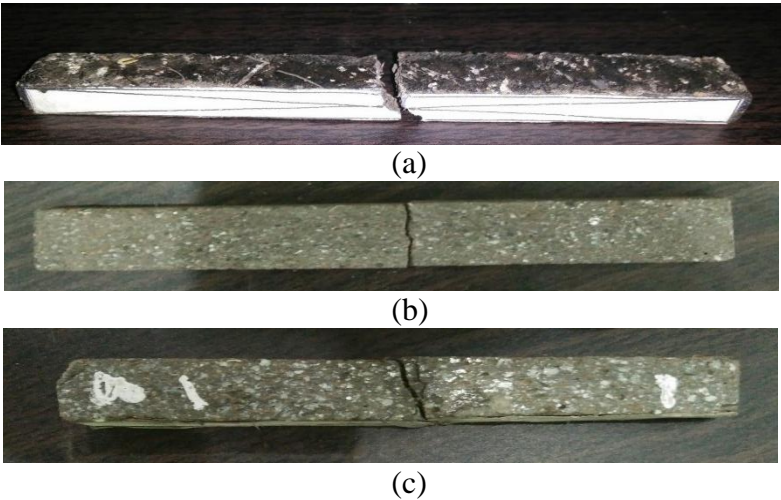
baik dan dapat menimbulkan *void* atau lubang pada material komposit.

Pada komposisi 1 kekuatan tekan aktual yang dimiliki komposit sebesar 42,065 Mpa dan kekuatan tekan teoritisnya 53,88 Mpa kekuatan tekan aktual hanya memiliki kekuatan sebesar 78,071% dari perhitungan teoritisnya. Pada komposisi 2 kekuatan tekan teoritis sebesar 49,54 Mpa dan kekuatan tekan aktual sebesar 20,163 Mpa sehingga pada komposisi 2 hanya memiliki 40,7% kekuatan teoritisnya. Pada komposisi 3 kekuatan tekan aktual sebesar 37,117 Mpa sedangkan kekuatan tekan teoritisnya 51,71 Mpa dan pada komposisi 3 hanya memiliki 71,779% dari kekuatan teoritisnya. Komposisi 2 memiliki nilai pengujian yang jauh berbeda dari teori yang ada. Hal ini dapat diakibatkan oleh penekanan yang tidak maksimal saat pembuatan komposit ikatan *interface* dari material komposit tidak kuat serta terdapatnya *void* pada material dan mengakibatkan nilai kekuatan tekan yang menurun.

Pada standarisasi yang telah ditetapkan PT.KAI blok rem komposit harus memiliki minimal kekuatan tekan sebesar 25 Mpa. Pada tabel 4.2 sampai 4.4 dan grafik 4.1 dapat dilihat bahwa komposisi 1 dan 3 telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh PT Inka dengan nilai rata-rata sebesar 42,065 Mpa untuk komposisi 1 dan 37,117 Mpa untuk komposisi 3, sehingga komposisi 1 dan komposisi 3 dari blok rem komposit dapat dinyatakan lolos dari segi standarisasi kekuatan tekan material.

4.2.3 Kekuatan Lentur Material

Pengujian kekuatan tekan dilakukan dengan ketentuan yang ada pada ASTM D790. Pengujian dilakukn dengan pemberian pembebanan pada material benda uji dengan ukuran spesimen, yaitu: panjang 100 mm lebar 10 mm dan tebal 5 mm. Pengujian dilakukan dengan menggunakan 3 point bending seperti pada ilustrasi gambar 4.5 sampai material spesimen mengalami kerusakan.



Gambar 4.7 (a) Spesimen Pengujian Lentur Komposisi 1 (b) Spesimen Pengujian Lentur Komposisi 3(c) Spesimen Pengujian Lentur Komposisi 3

Pengujian yang dilakukan menggunakan 2 sampel pada setiap komposisi yang ada. Setiap komposisi memiliki 2 nilai hasil pengujian dan 1 hasil rata-rata yang akan ditampilkan pada tabel 4.7 sampai 4.9, serta perbandingan nilai tiap komposisinya pada grafik 4.9

Tabel 4.7 Nilai Kekuatan Lentur Material Komposisi 1

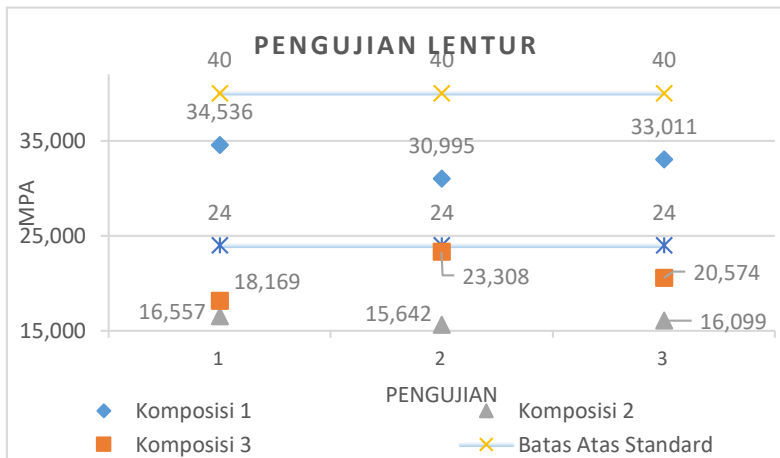
No.	Parameter Uji	Satuan	Komposisi 1		
			Hasil Uji 1	Hasil uji 2	Average
1	Tebal	mm	6.65	5.81	6.23
2	Lebar	mm	11.11	11.63	11.37
3	Jarak Tumpuan	mm	80	80	80
4	Beban Maksimum	N	70.7	50.7	60.7
5	Nilai Kekuatan Lentur	Mpa	34.536	30.994	33.011

Tabel 4.8 Nilai Kekuatan Lentur Material Komposisi 2

No.	Parameter Uji	Satuan	Komposisi 2		
			Hasil Uji 1	Hasil Uji 2	Average
1	Tebal	mm	7.3	7.2	7.25
2	Lebar	mm	13.9	14	13.95
3	Jarak Tumpuan	mm	80	80	80
4	Beban Maksimum	N	51.1	47.3	49.2
5	Nilai Kekuatan Lentur	Mpa	16.556	15.641	16.099

Tabel 4.9 Nilai Kekuatan Lentur Material Komposisi 3

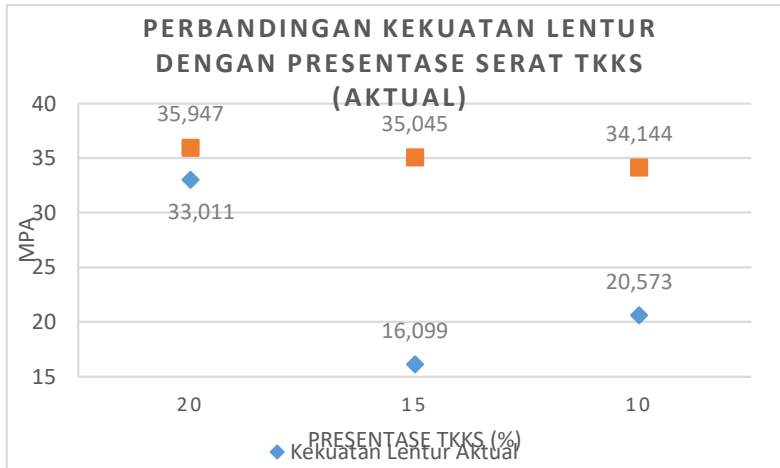
No.	Parameter Uji	Satuan	Komposisi 3		
			Hasil Uji 1	Hasil Uji 2	Average
1	Tebal	mm	7.5	6.83	7.165
2	Lebar	mm	12	13.2	12.6
3	Jarak Tumpuan	mm	80	80	80
4	Beban Maksimum	N	51.1	59.8	55.45
5	Nilai Kekuatan Lentur	Mpa	18.168	23.306	20.573



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Kekuatan Lentur pada tiap Komposisi

Pada grafik 4.8 didapatkan hasil pengujian dengan nilai kekuatan lentur pada komposisi 1 adalah 34,536 Mpa dan 30,994 Mpa dengan nilai rata-rata sebesar 33,011 Mpa, sedangkan pada komposisi 2 sebesar 16,556 Mpa dan 15,641 Mpa dengan nilai rata-rata 16,099 MPa, dan pada komposisi 3 sebesar 18,168 Mpa dan 11.614 Mpa dengan nilai rata-rata 15.008 MPa. Nilai kekuatan lentur tertinggi terdapat pada komposisi 1 dengan nilai 34,536 MPa dan nilai kekuatan lentur terendah terdapat pada komposisi 3 dengan nilai 11,614 Mpa.

Pada komposisi 2 nilai kekuatan lentur mengalami penurunan yang cukup besar dibandingkan dengan nilai yang ada pada komposisi lainnya. Terdapatnya *void* pada material merata merupakan penyebab hal ini. Hal ini dapat dilihat dari penurunan densitas dari komposisi 2. Pada nilai densitas teori sebesar $2,26 \text{ g/cm}^3$ untuk komposisi 2 sedangkan hasil eksperimen yang dilakukan mendapatkan nilai $1,46 \text{ g/cm}^3$. Nilai tersebut menunjukkan terjadinya penurunan densitas yang cukup signifikan, berdasarkan rumus yang ada dapat di ketahui bahwa pada komposisi 2 memiliki *void* sebesar 35,40% *void*. *Void* yang terdapat pada komposisi 2 mempengaruhi dari nilai kekuatan dari pengujian tekan maupun pengujian lenturnya sehingga nilai yang didapatkan lebih kecil dari harapan. Apabila pada suatu material terdapat *void* maka, ikatan kohesi molekul pada material tersebut akan semakin sedikit dikarenakan terdapat banyak rongga pada material sehingga menurunkan kekuatan material dalam penanganan *stress* secara keseluruhan.



Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Kekuatan Lentur dengan presentase serat TKKS

Pada grafik 4.9 merupakan perbandingan antara kekuatan lentur teoritis dengan kekuatan lentur aktual. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa kekuatan lentur dari material akan menurun seiring dengan penurunan presentase dari serat TKKS. Kekuatan tekan teoritis dan aktual sama-sama memiliki *trendline* yang menurun, namun pada kekuatan tekan actual komposisi 2 tidak sesuai dengan teori yang ada dikarenakan hal yang telah disebutkan diatas. Pada kekuatan lentur teoritis pada komposisi 1 memiliki nilai sebesar 35,947 MPa dan kekuatan lentur aktual sebesar 33,011 MPa dan memiliki 91,832% kekuatan teoritisnya. Pada komposisi 2 kekuatan lentur teoritis memiliki nilai 35,045 MPa dan kekuatan lentur aktual sebesar 16,099 MPa dan hanya memiliki 45,938% dari kekuatan lentur teoritisnya. Pada komposisi 3 kekuatan lentur teoritis sebesar 34,144 MPa dan kekuatan lentur aktual sebesar 20,573 MPa dan memiliki 60,253% dari kekuatan teoritisnya.

Pada standarisasi yang ditentukan oleh PT.KAI kekuatan lentur yang dimiliki oleh blok rem komposit harus berada pada

nilai 24 Mpa sampai dengan 40 Mpa. Pada grafik dan table kekuatan lentur diatas dapat dilihat bahwa yang memenuhi standard yang ditetapkan adalah komposisi 1 dengan nilai kekuatan lentur rata-rata sebesar 33,011 Mpa, sedangkan untuk komposisi 2 dan komposisi 3 nilainya masih dibawah dari standard. Deviasi penurunan dari komposisi 1 ke komposisi 2 dan komposisi 3 terlalu jauh dan tidak sesuai dengan nilai yang diharapkan sebelumnya. Maka untuk pengujian kekuatan lentur komposisi yang lolos dari standard hanya komposisi 1 .

4.3 Analisa Kegagalan

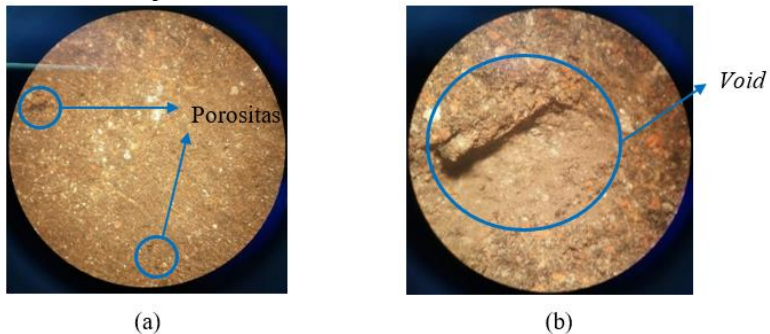
Pada hasil pengujian spesimen yang telah dilakukan ditemukan beberapa hal yang tidak sesuai dengan teori yang ada. Pada komposisi 2 terdapat nilai dari pengujian tekan maupun pengujian lentur yang berada jauh dibawah dr hasil yang diharapkan, dan tidak sesuai dengan teori. Pada analisis yang dilakukan didapatkan penyebab dari turunnya kekuatan material pada komposisi 2 adalah menurunnya densitas dari komposisi 2 dan terdapatnya *void* yang ada didalam metrial. Densitas memiliki pengaruh terhadap kekuatan, apabila suatu material memiliki densitas yang kecil maka akan semakin banyak rongga yang ada dan rongga-rongga tersebut akan menurunkan kekuatan material akibat ikatan antar molekul pada material yang semakin sedikit. Berikut pada tabel 4.10 merupakan hasil pengujian yang telah dilakukan beserta teori dan perhitungan *void*.

Tabel 4.10 Tabel perbandingan densitas teori, densitas aktual, dan void

Komposisi	Berat di udara (g)	Berat di fluida (g)	Berat di fluida tanpa sinker (g)	Specific gravity (g)	Densitas (g/cm^3)	Void (%)
1	4.49	3.03	5.17	1.91	1.90	0.07
2	4.15	2.75	4.35	1.63	1.62	0.31
3	4.45	2.94	5.13	1.97	1.96	0.25

Pada tabel 4.10 dapat dilihat bahwa nilai dari hasil eksperimen masih berada dibawah dari nilai densitas teori. Pada

komposisi 1 di dapatkan densitas sebesar $1,9 \text{ g/cm}^3$ nilai, dan *void* sebesar 7%, pada komposisi 2 didapatkan densitas sebesar $1,62 \text{ g/cm}^3$ nilai, dan *void* sebesar 31%, dan pada komposisi 3 densitas sebesar 1.96 g/cm^3 nilai *void* sebesar 25%. Penurunan nilai kekuatan dari komposisi 2 memiliki korelasi terhadap nilai *void* yang ada pada material tersebut, semakin besar nilai dari *void* maka kekuatan mekanik dari material akan semakin menurun. Pada permukaan dari material komposit dilakukan foto makro untuk melihat kondisi *void* maupun *porosity* yang ada pada permukaan material komposit.



Gambar 4.10 *Void* dan porositas pada material

Pada hasil pengamatan seperti pada gambar 4.10 dapat dilihat terdapatnya porositas dan *void* pada material. Hal ini menunjukkan bahwa hasil dari perhitungan *void* dan hasil pengamatan secara makro menunjukkan hasil yang sama yaitu terdapatnya porositas dan *void* pada material. Terdapatnya *void* dan porositas pada material dapat menurunkan kekuatan mekanik material secara keseluruhan. Alat dan proses pembuatan perlu dicermati agar *void* dan porositas dapat diminimalisir. Beban penekanan serta suhu pemanasan sangat berpengaruh terhadap hasil akhir dari material.

Pada komposisi 1 didapatkan nilai *void* terkecil dari seluruh komposisi, yaitu sebesar 7%. Hal ini berbanding lurus dengan nilai kekuatan tekan maupun kekuatan lentur dari komposisi 1 yang telah lolos dari standard PT.KAI. Nilai kekuatan

mekanik dari komposisi 1 secara teori dan eksperien juga tidak berbeda jauh dan sudah sesuai dengan teori yang ada. Komposisi 2 memiliki nilai kekuatan mekanik terkecil dari seluruh variasi komposisi. Pada komposisi 2, hasil dari perhitungan *void* didapatkan nilai sebesar 31% dan merupakan nilai terbesar yang ada. Hal ini menyebabkan kekuatan tekan dan kekuatan lentur dari komposisi 2 memiliki nilai yang rendah dan tidak sesuai dengan teori serta tidak lolos dari standard PT.KAI. Pada komposisi 3, nilai kekuatan tekan telah lolos dari nilai standard PT.KAI namun untuk kekuatan tekan masih berada di bawah standard. Pada komposisi 3 memiliki nilai *void* sebesar 25% dan menyebabkan penurunan kekuatan pada material. Untuk nilai perbandingan kekuatan tekan, kekuatan lentur dan *void* dapat dilihat pada tabel 4.11

Tabel 4.11 Tabel perbandingan kekuatan tekan, kekuatan lentur dan *void*

Komposisi	Kekuatan Tekan	Kekuatan Lentur	Presentase <i>Void</i>
1	42.065 Mpa	33.011 Mpa	7%
2	20.163 Mpa	16.099 Mpa	31%
3	37.118 Mpa	20.573 Mpa	25%

Pada data tabel 4.11 dapat dilihat apabila presentase dari *void* mempengaruhi dari nilai kekuatan mekanik dari material, warna hijau pada tabel menandai nilai kekuatan yang telah lolos dari standard PT.KAI. Apabila nilai *void* besar maka kekuatan dari material pun akan ikut menurun juga, namun penurunan nilai kekuatan tidak memiliki nilai yang linear dengan nilai *void*. *Void* akan mempengaruhi kekuatan dari material melalui ikatan kohesi dari molekul yang semakin sedikit akibat terdapatnya rongga/*void* pada material.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian dan analisa yang telah dilakukan maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan pengujian kekuatan tekan, komposisi 1 yaitu dengan fraksi volume Tandan Kosong Kelapa Sawit 20%, Magnesium oksida 10%, Alumina 25%, iron powder 15%, dan Resin phenol 30% dan komposisi 3 yaitu dengan fraksi volume Tandan Kosong Kelapa Sawit 10%, Magnesium oksida 20%, Alumina 25%, iron powder 15%, dan Resin phenol 30% telah melebihi nilai standard yang ditetapkan PT.KAI yaitu sebesar 25 Mpa. Pada komposisi 1 dengan rata-rata sebesar 42,065 Mpa dan pada komposisi 3 dengan rata-rata sebesar 37,117 Mpa
2. Berdasarkan pada pengujian kekuatan lentur, komposisi 1 yaitu dengan fraksi volume Tandan Kosong Kelapa Sawit 20%, Magnesium oksida 10%, Alumina 25%, iron powder 15%, dan Resin phenol 30% telah lolos dari standard PT.KAI yaitu sebesar 24 – 40 Mpa. Pada komposisi 1 didapatkan kekuatan lentur dengan rata-rata sebesar 33,011 Mpa.
3. Berdasarkan pengujian kekuatan tekan dan kekuatan tekan maka komposisi yang dapat memenuhi 2 *point* standard yang telah ditentukan PT.KAI adalah komposisi 1 dengan variasi : Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) 20%, Alumina 25%, Magnesium Oksida 10%, Resin Phenol 30%, dan Iron Powder 15%.

5.2 Saran

Adapun saran yang penulis berikan untuk menunjang penelitian ini diantaranya:

1. Pengadukan bahan-bahan komposisi komposit sebaiknya dilakukan dengan mesin pengaduk agar dapat mendapatkan adonan yang lebih homogen.

2. Dibutuhkannya alat untuk menekan cetakan material agar tetap menerima pembebanan yang konstan pada dimasukkan kedalam *furnace*, agar didapatkan hasil yang maksimal.
3. Untuk penelitian selanjutnya variasi fraksi volume dari tandan kosong kelapa sawit ataupun Magnesium oksida dibuat konstan agar dapat melihat pengaruh lebih lanjut dari material penguat.
4. Perlu dilakukan penelitian selanjutnya mengenai variasi temperature dan pembebanan maksimum pembuatan material komposit

DAFTAR PUSTAKA

- Arisandi Duddy, Senoaji Arsil S. 2014. Analisis Kegagalan Blok Rem Kereta Api. Institut Teknologi Bandung.
- American Standard Testing and Material (ASTM)*. 2003. ASTM D790. Pennsylvania. United States
- American Standard Testing and Material (ASTM)*. 2015. ASTM D695. Pennsylvania. United States
- Rongpin Yun .2010. *Performance and evaluation of eco-friendly brake friction material*.
- Hilman Saeful, IGN Wiratmaja Pudhja. 2012. Penentuan parameter produksi material rem ramah lingkungan untuk aplikasi kereta api menggunakan serat tandan kosong kelapa sawit sebagai penguat.
- M.A. Maleque.2012.*New natural fibre reinforced aluminium composite for automotive brake pad. International Islamic University Malaysia*.
- Supriadi H, Savetlana S. 2014. Pengaruh perlakuan alkali terhadap kekuatan tarik serat tandan kosong kelapa sawit untuk digunakan pada komposit serat TKKS.
- Widyastuti, 2009 2015. Rekayasa proses laminasi komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃ dalam fasa padat. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia. Jakarta
- Agus Hariyanto. 2008. Pengaruh Perlakuan Alkali Pada Rekayasa Bahan Komposit Berpenguat Serat Rami Bermatrik Poliester Terhadap Kekuatan Mekanis. Universitas Muhammadiyah Surakarta
- K. van Rijswijk, M.Sc, et.al. 2001. *Natural Fibre Composites Structures and Materials*. Laboratory Faculty of Aerospace Engineering DelftUniversity of Technology
- Agus Pramono, 2008. Komposit Sebagai Trend Teknologi Masa Depan. Jurnal,Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Yogyakarta.

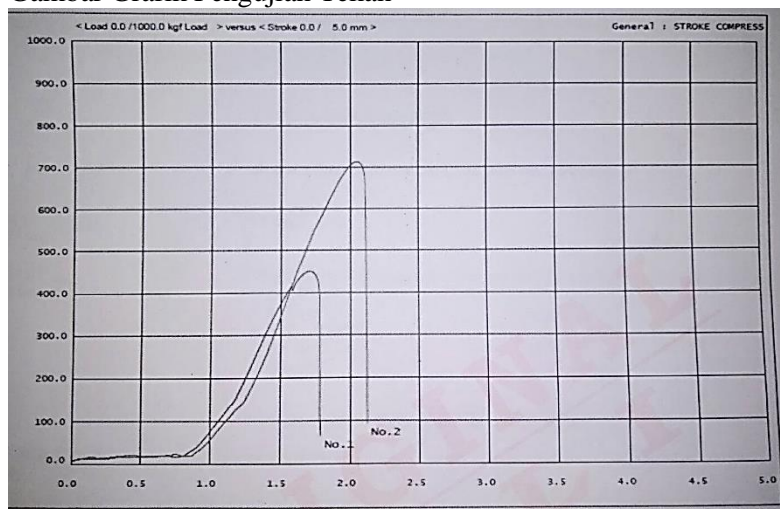
Vlack, L. H. (2004). *Elemen-elemen Ilmu dan Rekayasa Material*. (S. Djaprie, Penerj.) Jakarta: Erlangga.

Vlack, L. H. (1985). *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Jakarta: Erlangga.

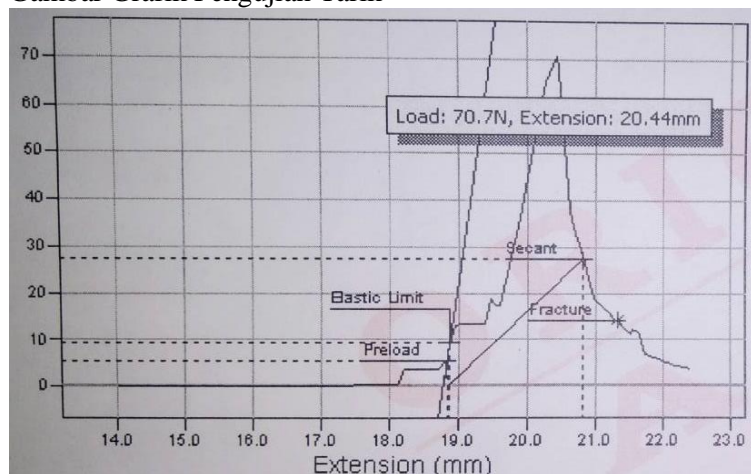
Ahmad Safaat. 2017. Aplikasi Komposit Epoxy-HGM-Carbon Fiber Pada Sungkup Helm untuk Menahan Penetrasi dan Mereduksi Energi Impact. Teknik Mesin ITS. Surabaya

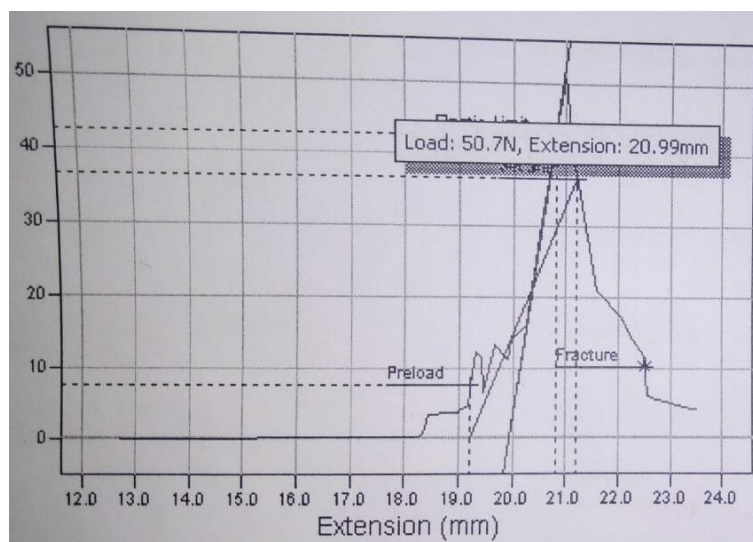
LAMPIRAN

Gambar Grafik Pengujian Tekan



Gambar Grafik Pengujian Tarik





BIODATA PENULIS



Muhammad Fahmi Adrian dilahirkan di Jakarta, 23 Mei 1995, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Riwayat pendidikan penulis diawali di Tk Angkasa 4 pada tahun 1999-2001, kemudian dilanjutkan di SD Angkasa 9 pada tahun 2001-2005 dan kemudian berpindah ke SD Ar-Rahman motik dari tahun 2005-2007. Penulis melanjutkan pendidikannya di SMP Labschool Jakarta pada tahun 2007-

2010, kemudian melanjutkan pendidikannya di SMA Labschool Jakarta pada tahun 2010-2013. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan jenjang S-1 Departemen Teknik Mesin di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Penulis aktif dalam kegiatan Akademik maupun keorganisasi selama perkuliahan. Penulis merupakan anggota dari Laboratorium Metalurgi dan pernah menjadi asisten di kelas maupun di Laboratorium Metalurgi. Penulis juga mengikuti kegiatan berorganisasi di lingkup jurusan dan sempat diberikan kepercayaan untuk menjadi ketua Organisasi Mahasiswa di jurusan teknik mesin, yaitu pada Ormawa Mesin ITS Autosport.

Selama menjalani hidup Penulis berpegang teguh dengan prinsip "*Its more important to master the cards that you are holding then complain about the ones that others have*". Prinsip ini membuat penulis untuk terus berusaha dengan kemampuan yang penulis miliki dan tidak mengeluh atas apa yang tidak penulis miliki, hal ini membuat penulis untuk berusaha semaksimal mungkin pada setiap kesempatan yang ada. Untuk semua informasi dan masukan terkait tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email fahmi21@rocketmail.com